

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO FIN DE CARRERA

**FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA EUROPEO DE GESTIÓN DE
TRÁFICO FERROVIARIO E IMPLANTACIÓN EN LÍNEA DE ALTA
VELOCIDAD MADRID-VALLADOLID**

AUTOR: JAVIER DURÁN SAGRADO
TUTORA: MARÍA ÁNGELES MORENO

Leganés, octubre de 2010



AGRADECIMIENTOS

Este proyecto está dedicado en especial a mi familia, por todo el apoyo y el ánimo recibido a lo largo de estos años, y sobre todo por la educación que me han dado. Gracias por vuestro apoyo incondicional.

A mis amigos, por su confianza y comprensión que han mostrado en épocas de exámenes, periodos de prácticas, y sobre todo, en estos últimos años; quienes siempre me han dado ánimo y fuerzas, cuando las necesitaba.

A todos los compañeros con los que he compartido grandes momentos en la universidad y que he ganado como amigos.

Pero sobre todo, quiero recordar a quien no han podido disfrutar este momento junto a mí; porque no hay un día que no piense en ti.

A TODOS VOSOTROS, MUCHAS GRACIAS



RESUMEN

Este proyecto describe la funcionalidad de una línea ferroviaria y cuales son sus elementos principales para su correcto funcionamiento. Se explicará cómo, al igual que en otros medios de transporte, la tecnología ha avanzado en este medio, surgiendo un Sistema Europeo de Gestión de Tráfico Ferroviario (European Rail Traffic Management System “ERTMS”) que aporta beneficios considerables; elevando la seguridad, acortando tiempos de viaje y aumentando la interoperabilidad entre países.

El objetivo de este proyecto es explicar en qué consiste este Sistema de Señalización, qué equipos y funcionalidad utilizan para su operación, definir los Niveles que existen, compararlos entre ellos, y describir las modificaciones más importantes para pasar del Nivel 1 a Nivel 2 en ERTMS. Posteriormente, se realizarán las modificaciones necesarias para adaptar la Línea de Alta Velocidad Madrid-Valladolid.

El Nivel 2 de ERTMS, es un avance del Nivel 1, dónde el tren estará mejor supervisado, contará de mayor seguridad, el maquinista tendrá menos responsabilidades, evitando así de mejor manera el error humano, y se podrá operar a velocidades más altas y con más frecuencia de trenes.

ERTMS es el sistema necesario e imprescindible para que el sector ferroviario pueda competir contra otros medios de transporte, tanto en mercancías a nivel internacional, como a nivel de pasajeros, por su reducción de tiempos y frecuencia de trenes.



ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	8
1.1.	Motivación	8
1.2.	Objetivos	9
1.3.	Estructura del documento	9
2	SEÑALIZACIÓN FERROVIARIA.....	10
2.1	Sistema de Señalización Ferroviaria.....	10
2.2	Elementos principales de la Señalización Ferroviaria	11
2.2.1	Circuitos de vía.....	11
2.2.2	Agujas o Desvíos.....	12
2.2.3	Señales luminosas.....	13
2.2.4	Otros elementos	15
2.3	Enclavamiento electrónico.....	17
2.4	Sistema Automatic Train Protection (ATP).....	19
2.5	Sistema ASFA (Anuncio de Señales y Frenado Automático)	20
2.6	Rutas.....	21
3	TECNOLOGÍA ERTMS.....	23
3.1	Situación previa.....	23
3.2	¿Qué es ERTMS?	24
3.3	Evolución	25
3.4	Funcionalidad y Niveles ERTMS.....	25
3.4.1	Eurocabina.....	26
3.4.2	Funcionalidad Nivel 0	26
3.4.3	Funcionalidad Nivel 1	27
3.4.4	Funcionalidad Nivel 2	29
3.4.5	Funcionalidad Nivel 3	34
3.5	Arquitectura de los subsistemas de a bordo	36
3.6	Modos de operación	37
3.6.1	Supervisión Completa (Full Supervision)	37
3.6.2	Maniobra (Shunting)	37
3.6.3	Personal Responsable (Staff Responsable).....	38
3.6.4	A la vista (On Sight).....	38
3.6.5	Aislamiento (Isolation).....	39
3.6.6	Sin energía (No Power)	39
3.6.7	Fallo del sistema (System Failure)	40



3.6.8	Durmiente (Sleeping)	40
3.6.9	Arranque (Stand By)	40
3.6.10	Obsoleto (Unfitted).....	41
3.6.11	Peligro (Trip).....	41
3.6.12	Post Peligro (Post Trip)	41
3.6.13	Marcha atrás (Reversing).....	42
3.7	Lenguaje del sistema	42
3.7.1	Enlazado (Linking).....	44
3.7.2	Autorización de Movimiento (Movement Authority, MA)	44
3.7.3	Gradiente	45
3.7.4	Perfil estático de velocidad (SSP)	46
3.8	Componentes del sistema.....	47
3.9	ERTMS en España.....	48
4	APLICACIÓN ESPECÍFICA LAV (LÍNEA ALTA VELOCIDAD) MADRID-VALLADOLID	51
4.1	Situación de LAV Madrid-Valladolid	51
4.2	Características de la Línea de Alta Velocidad (LAV).....	52
4.2.1	Túnel de Guadarrama	54
4.2.2	Túnel de San Pedro.....	55
4.2.3	Viaducto Arroyo del Valle	56
4.3	Descripción de los equipos instalados de Nivel 1 ERTMS	57
4.4	EQUIPOS A INSTALAR Y PROGRAMAR EN NIVEL 2.....	58
4.4.1	Puntos de entrada y salida para Nivel 2.....	59
4.4.2	Transición entre RBCs	78
4.4.3	Valores nacionales.....	89
5	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	90
5.1	Conclusiones	90
5.2	Trabajos futuros.....	91
6	REFERENCIAS	94



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Circuito de vía libre.....	11
Figura 2. Circuito de vía ocupado	12
Figura 3. Imagen de aguja	12
Figura 4. Imagen de Bretel	13
Figura 5. Partes de una Señal luminosa.....	13
Figura 6. Estado de las señales luminosas.....	14
Figura 7. Colocación de señales luminosas en vía	15
Figura 9. Imagen de Paso a Nivel.....	16
Figura 10. Calce descarrilador	16
Figura 11. Ejemplo de rutas controladas por enclavamiento electrónico.....	18
Figura 12. Imagen de Radio Block Center (RBC).....	18
Figura 13. Esquema de la funcionalidad del sistema ASFA	20
Figura 14. Tipos de rutas	22
Figura 15. Sistemas de Señalización en Europa	23
Figura 16. Dibujo ilustrativo de los problemas de interoperabilidad	24
Figura 17. Eurocabinas.....	26
Figura 19. Imagen LEU	27
Figura 20. Imágenes de balizas en línea.....	28
Figura 21. Movimientos del tren en Nivel 1.....	29
Figura 22. Esquema de funcionalidad Nivel 2	30
Figura 23. Radio Block Center	31
Figura 24. Esquema de colocación y conexión de balizas en la vía.....	33
Figura 25. Movimiento del tren en Nivel 2	34
Figura 27. Movimiento del tren en Nivel 3	35
Figura 28. European Vital Computer	36
Figura 29. Driver Machine Interface	36
Figura 33. Líneas de Alta Velocidad futuras en España	50
Figura 34. Situación Línea Alta Velocidad Madrid-Valladolid	51
Figura 35. Condiciones técnicas de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Valladolid ...	52
Figura 36. Puesto de adelantamiento y estacionamiento de trenes	53
Figura 37. Hitos kilométricos de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Valladolid	54
Figura 38. Túnel de Guadarrama	55
Figura 39. Túnel de San Pedro	56
Figura 40. Viaducto Arroyo del Valle	56
Figura 41. Arquitectura del Nivel 1 en Línea Alta Velocidad Madrid-Valladolid	57
Figura 42. Transición a Nivel 2	59
Figura 43. Salida del Nivel 2	61
Figura 44. Ejemplo de establecimiento y cancelación de sesión en una misma baliza..	63
Figura 45. Tira de vía en Chamartín	64
Figura 46. Tira de vía de Olmedo	71
Figura 47. Tira de vías de Valladolid	76
Figura 48. Esquema de transición de RBCs	78
Figura 49. Proceso de transición entre RBCs.....	81
Figura 50. Tira de vía frontera Soto del Real y Segovia	83
Figura 51. Tira de vía frontera Nava de la Asunción y Olmedo	86



Figura 52. Tira de vía frontera de Olmedo y Nava de la Asunción	87
Figura 53. Mapa de España con líneas de Alta Velocidad en servicio, en construcción y en proyecto	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ejemplo de variables dentro de los paquetes	43
Tabla 2. Paquete 5 (Enlazado)	44
Tabla 3. Paquete 12 (Autorización de Movimiento)	45
Tabla 4. Paquete 21 (Gradiente)	46
Tabla 5. Paquete 27 (Perfil Estático de Velocidad)	47
Tabla 6. Radios Blocks Centers y Enclavamientos de LAV Madrid-Valladolid	58
Tabla 7. Paquete 41 (Transición de Nivel)	60
Tabla 8. Paquete 42 (Establecimiento de sesión)	61
Tabla 9. Baliza de establecimiento y cancelación en Chamartín	65
Tabla 10. Grupo de balizas de recuperación de sesión bidireccional en Chamartín	66
Tabla 11. Grupo de balizas de anuncio a Nivel 0 en Chamartín	66
Tabla 12. Grupo de balizas de frontera Nivel 0 en Chamartín	67
Tabla 13. Grupo de balizas de recuperación de sesión bidireccional en Tres Cantos	68
Tabla 14. Grupo de balizas de recuperación de sesión bidireccional en Soto del Real	69
Tabla 15. Grupos de balizas de recuperación de sesión bidireccional en Segovia	69
Tabla 16. Grupo de balizas de recuperación de sesión bidireccional en Garcillán	70
Tabla 17. Grupo de balizas de recuperación de sesión bidireccional en Olmedo	72
Tabla 18. Grupo de balizas de anuncio a Nivel 0 en Olmedo	73
Tabla 19. Grupo de balizas de frontera Nivel 0 en Olmedo	73
Tabla 20. Grupo de balizas de recuperación de sesión bidireccional en Hornillos	74
Tabla 21. Grupo de balizas de recuperación de sesión unidireccional en Valdestillas	75
Tabla 22. Grupo de balizas de anuncio a Nivel 0 en Valdestillas	76
Tabla 23. Grupo de balizas de frontera Nivel 0 en Valdestillas	77
Tabla 24. Grupo de Balizas de establecimiento y cancelación de sesión en Valladolid	77
Tabla 25. Paquete 131 (Orden de transición de RBC)	79
Tabla 26. Balizas de Transición RBC CHA => RBC SEG	84
Tabla 27. Balizas de Transición RBC SEG 1 => RBC CHA	85
Tabla 28. Balizas de transición RBC SEG 1 => RBC SEG 2	86
Tabla 29. Balizas de transición RBC SEG 2 => RBC SEG 2	88
Tabla 30. Valores nacionales	89



1 INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación

En los últimos años, hemos visto un importante avance tecnológico en el transporte, tanto de mercancías como de pasajeros. Comprobamos cómo el transporte en avión es más asequible a nuestros bolsillos, debido a la gran competencia entre compañías aéreas, o cómo el coche se ajusta más a nuestras necesidades, con vehículos más cómodos y más potentes. Esto repercute al tráfico ferroviario, dejándolo en un segundo plano, y no siendo la primera opción para el transporte.

El problema principal del tráfico ferroviario es la existencia de más de veinte sistemas de señalización y control diferentes en Europa. Esto dificulta el transporte ferroviario entre los distintos países del continente. En muchas fronteras, para seguir el trayecto del tren, deben cambiar locomotoras, maquinistas o incluso trenes directamente. Todo esto provoca que se desarrolle un sistema común en Europa para la Señalización y Control del tráfico ferroviario. Es así como surge el ERTMS (European Rail Traffic Management System) como Sistema de Gestión de Tráfico Ferroviario Europeo. En los años 90, la Unión Europea intenta impulsar este sistema con las principales empresas ferroviarias, pero no es hasta 1998 cuando se funda UNISIG (Union Industry of Signaling) por petición de la Comisión Europea para redactar las especificaciones técnicas de este sistema. A día de hoy, estas especificaciones sufren modificaciones continuas.

Los objetivos del sistema ERTMS son:

- Mejorar decisivamente la interoperabilidad del material rodante definiendo un estándar técnico de señalización y seguridad que permita superar las diferencias entre los distintos países de Europa.
- Ser competitivo ante otros medios de transporte
- Aumento de capacidad de las líneas reduciendo el intervalo entre trenes.
- Elevar las velocidades de circulación, acortando tiempos de viaje.
- Aumentar los niveles de seguridad.



1.2. Objetivos

El objeto del presente proyecto es la implantación del Sistema Europeo de Gestión de Tráfico (ERTMS) Nivel 2 en la Línea Madrid-Valladolid. En la actualidad, ya existe en servicio comercial ERTMS Nivel 1 en esta Línea de Alta Velocidad, por lo que se describirán los equipos a instalar y la programación para operar en Nivel 2.

1.3. Estructura del documento

Este proyecto se divide en los siguientes capítulos:

Señalización Ferroviaria: Se describen los principales elementos de la señalización ferroviaria. Como se estructura una línea, y cuales son los equipos imprescindibles para que una línea pueda operar en servicio comercial con una seguridad plena. También se describe sistemas de protección.

Tecnología ERTMS: Se habla más en profundidad explicando el sistema ERTMS. Sus niveles, diferencias entre ellos, sus ventajas, arquitectura del sistema, componentes, equipos de vía necesarios, y modos en los que trabaja.

Aplicación específica LAV Madrid-Valladolid: Se ha elegido la línea Madrid-Valladolid, la cual ya opera en Nivel 1 ERTMS, para implantarle las modificaciones necesarias para que ésta línea pueda circular en Nivel 2. Tipos de Balizas a instalar, programación de paquetes, valores de variable, transiciones de nivel.

Conclusiones y trabajos futuros: Se presentan las principales conclusiones del trabajo realizado en este proyecto y se describen algunas líneas de continuación relacionadas con el sistema ERTMS.

El documento termina con la recopilación de las principales referencias utilizadas.



2 SEÑALIZACIÓN FERROVIARIA

2.1 Sistema de Señalización Ferroviaria

Es el conjunto de elementos y materiales destinados a obtener que el movimiento de los trenes se efectúe en condiciones de seguridad y sin accidentes.

La señalización en el ferrocarril es una parte vital del sistema ferroviario. Su evolución ha ido pareja a la evolución del ferrocarril. Hoy en día es la base de la seguridad en el movimiento de los trenes. Su importancia se ha ido incrementando progresivamente, de manera que, cualquier evolución del ferrocarril lleva unido la evolución de la señalización, como medio imprescindible de garantizar la seguridad y proporcionar las herramientas necesarias para regular el tráfico, de acuerdo con las demandas sociales.

Sus funciones son:

- Garantizar la seguridad en el movimiento de los trenes (Seguridad)
- Permitir el control del movimiento de los trenes (Control)
- Posibilitar la gestión del movimiento de los trenes (Operación)

La señalización es el método empleado para regular las circulaciones, dando prioridades a unas sobre otras, por ejemplo, prioridad de pasajeros frente a mercancías. Otro de los objetivos principales es evitar accidentes, para ello:

- Mantiene una distancia de seguridad entre dos trenes consecutivos.
- Salvaguarda el movimiento de los trenes en las bifurcaciones, desvíos y travesías.
- Regular el paso de los trenes de acuerdo con la densidad de servicio y la velocidad exigida.
- Ante el fallo de un componente de señalización, garantiza la seguridad en el movimiento de los trenes.

2.2 Elementos principales de la Señalización Ferroviaria

A continuación se describe los principales elementos que conforman el sistema de Señalización Ferroviaria: circuitos de vía, agujas o desvíos, señales luminosas y otros elementos.

2.2.1 Circuitos de vía

Se denomina circuito de vía a cada uno de los tramos en los que se divide la vía para permitir conocer la posición de los trenes en cada instante y garantizar la separación entre ellos. Los carriles son utilizados como conductores eléctricos y unen una fuente de energía eléctrica, situada en un extremo del circuito de vía, con un relé situado en el otro extremo. El tramo de vía se limita mediante el corte de los carriles e instalando entre ellos unas juntas aislantes. Están formados por una sección de vía de una determinada longitud con un emisor que emite una señal en un extremo y un receptor en el otro.

El sistema de detección de trenes basado en los circuitos de vía se fundamenta en que cuando un tren entra en dicho circuito lo cortocircuita a través de sus ruedas y ejes haciendo que se detecte su posición. En la figura 1 se observa que, cuando el circuito está libre, no hay eje del tren que lo cortocircuite, y el relé está excitado dando el estado en la señal luminosa de circuito de vía libre. En cambio, cuando pasa un tren por el circuito de vía (figura 2), el eje lo cortocircuita y desexcita el relé; la señal luminosa aparece en rojo, prohibiendo el paso a este circuito de vía ocupado.

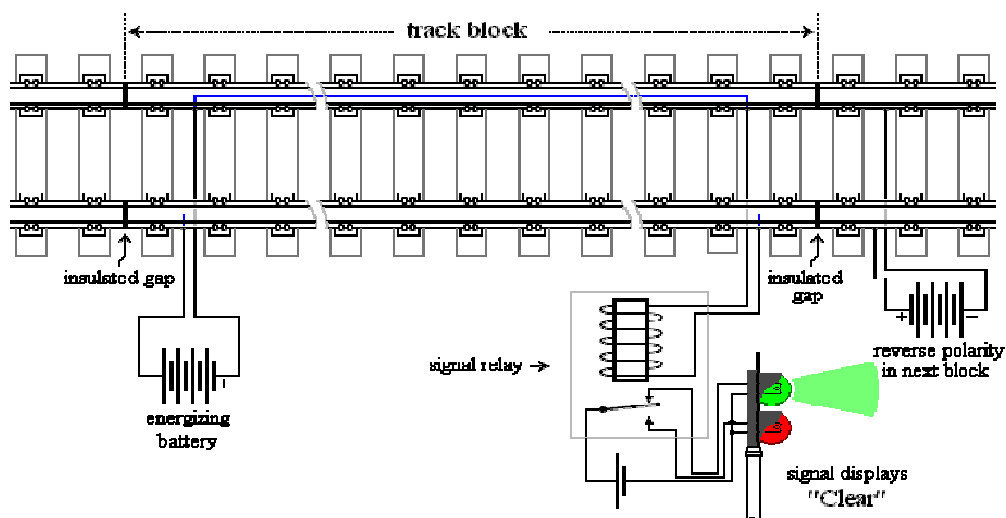


Figura 1. Circuito de vía libre [3]

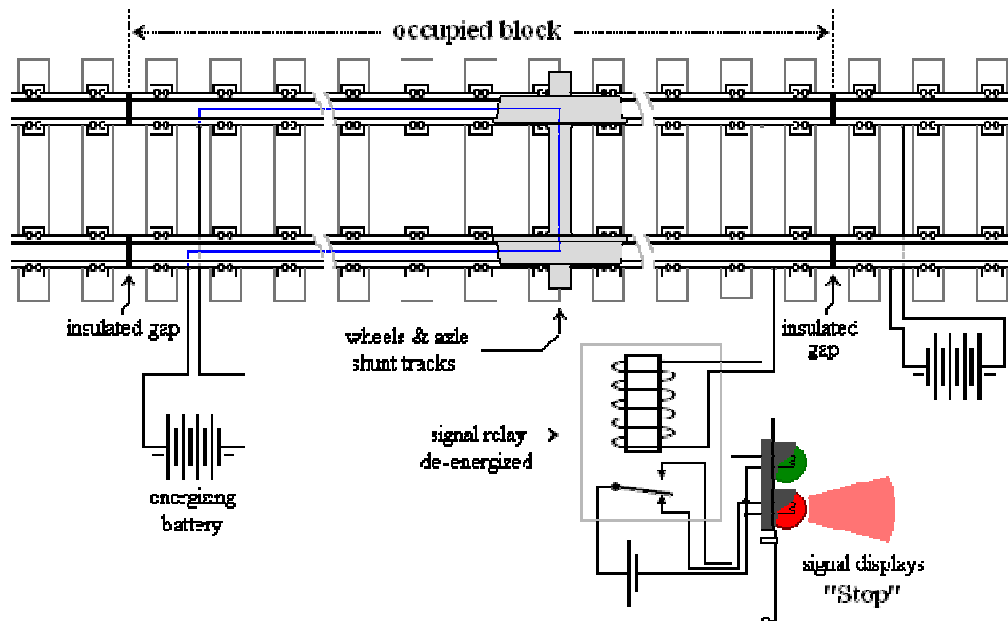


Figura 2. Circuito de vía ocupado [4]

2.2.2 Agujas o Desvíos

Se entiende por aguja, cambio o desvío tanto las bifurcaciones de la vía en las que el tren puede cambiar de trayectoria como el mecanismo que posibilita que los espadines se muevan a una posición u otra garantizando el movimiento seguro del tren por ellos.

Escape: Aparato de vía que pone en comunicación las circulaciones de dos vías, generalmente paralelas, mediante dos desvíos con la misma tangente y con sus desviadas en prolongación una de otra (figura 3).



Figura 3. Imagen de aguja [10]

Bretel (Bretelle): Tipo de travesía en forma de cruz de san Andrés que permite enlazar dos vías paralelas en ambos sentidos en un espacio reducido (figura 4).

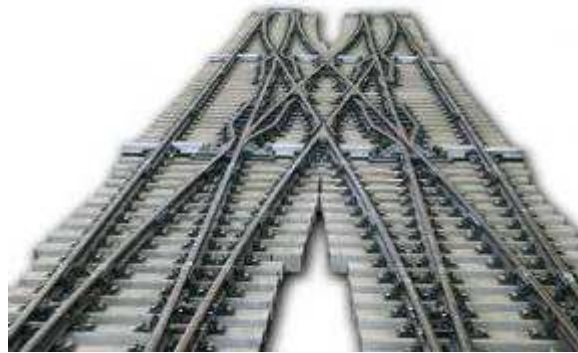


Figura 4. Imagen de Bretel [10]

2.2.3 Señales luminosas

Una señal es un dispositivo que indica a los maquinistas del tren el estado de disponibilidad de la vía que tienen por delante. Dependiendo de su color muestra una información al conductor para su circulación. Las señales luminosas constituyen un elemento fundamental para la seguridad de los trenes.

En la figura 5 se identifican las diferentes partes de una señal y, a continuación, en la figura 5, se describen los diferentes estados de las señales en función de la información que deben de dar.

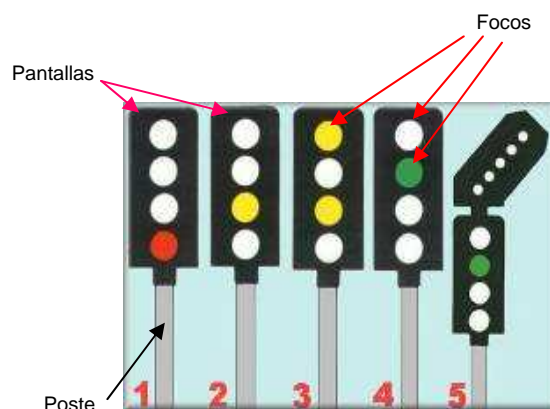


Figura 5. Partes de una Señal luminosa [9]

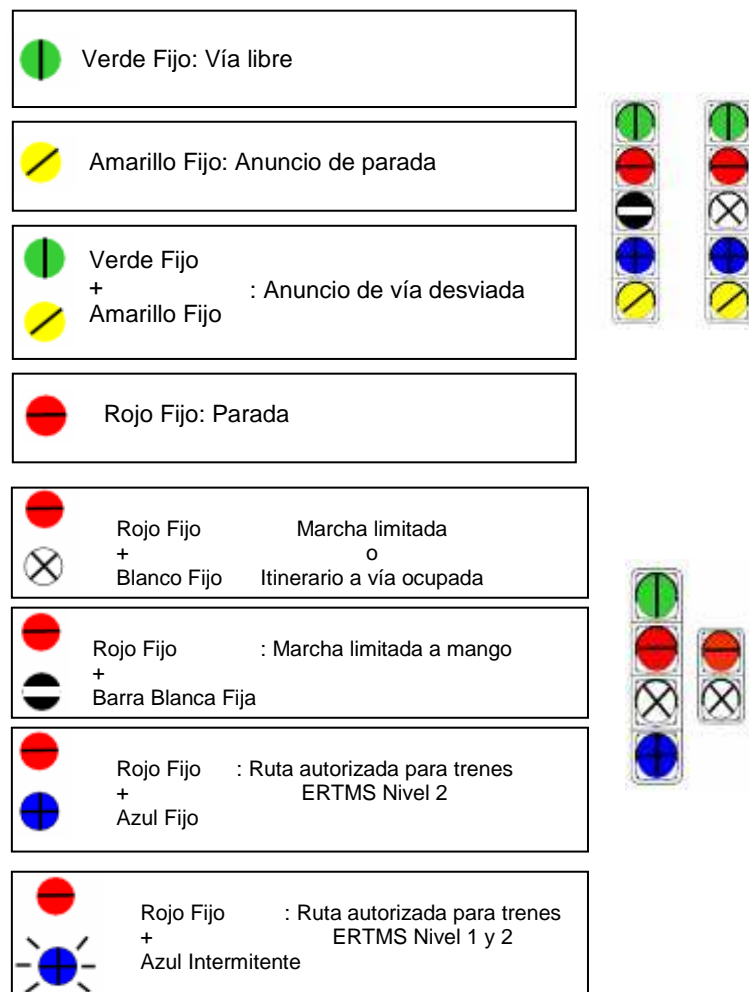


Figura 6. Estado de las señales luminosas [9]

Seguidamente, en la figura 7 se ha incluido un ejemplo de colocación de las señales dentro de una estación. En la salida de cada vía, antes de llegar a una aguja hay una señal luminosa de salida. Ésta proporciona información sobre si los siguientes circuitos de vía están libres o no, y si se puede circular por ellos. De igual modo, a la entrada de la estación otra señal que indica si se permite entrar o no en ella. Antes de la señal de entrada, existe otra señal de avanzada, que adelanta la información de la señal de entrada en la estación.

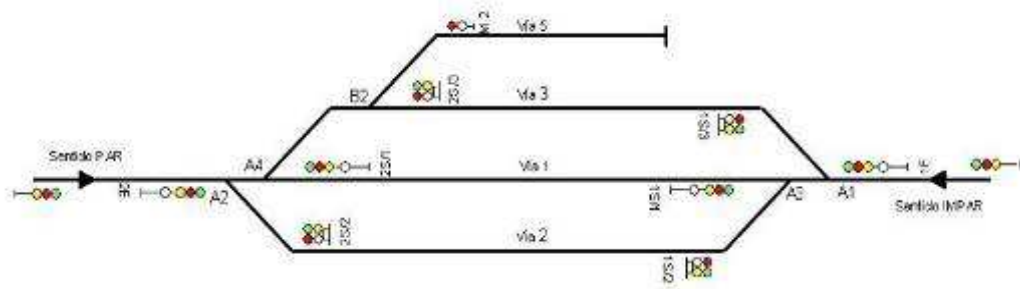


Figura 7. Colocación de señales luminosas en vía [7]

2.2.4 Otros elementos

Contadores de ejes

Al igual que los circuitos de vía, se usan para detectar la presencia o ausencia de trenes en un tramo de vía.

El contador de ejes está constituido por un dispositivo de detección de ruedas, acoplado a un sistema lógico, que efectúa el recuento de ejes que pasan por un punto determinado. En ambos extremos del tramo se sitúan un par de pedales que, según el orden en que detecten el paso de los ejes, determinan el sentido de la circulación. Se asigna el signo positivo a los ejes entrantes al cantón y el signo negativo a los ejes salientes del cantón. En la figura 8 se muestra un esquema de un circuito vacío. Si por el contrario estuviese ocupado, un extremo debería detectar ejes que pasen por él y hasta que por el otro extremo no detecte el paso de los mismos ejes que ha entrado por el otro punto, el circuito de vía no se quedaría libre.

A diferencia de los circuitos de vía, que detectan permanentemente la presencia de los trenes en un tramo de la vía, los pedales o detectores de ejes (figura 8) detectan la presencia o pasada del tren solamente en puntos determinados.

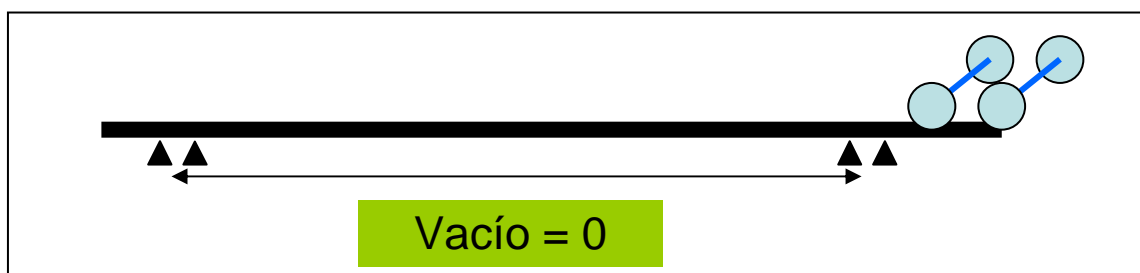


Figura 8. Esquema de contadores de eje [9]

Paso a Nivel

Se denomina paso a nivel a la intersección de una vía de tránsito carretero no diferenciada en altimetría con una vía de ferrocarril, lo cual exige que deba estar debidamente señalizado para que no se produzcan accidentes. Este tipo de cruces cuenta por lo general con barreras ferroviarias para impedir el paso del tránsito vehicular cuando está pasando el tren. En la figura 9 se observa un paso a nivel abierto para el tren y cerrado para el tráfico de vehículos.



Figura 9. Imagen de Paso a Nivel [10]

Calces

Son elementos utilizados para evitar el escape involuntario de vehículos ferroviarios, colocándolos sobre el carril.

- Descarrilador: Es el calce abatible accionado por un motor o palanca que además puede estar incluido en el enclavamiento de una estación. Si el calce no está abatido y es alcanzado por un vehículo produce el descarrilamiento del mismo (figura 10).



Figura 10. Calce descarrilador [12]



- De mano: El que es colocado y retirado manualmente por un agente. Puede ser asegurado al carril mediante un dispositivo con candado.

2.3 Enclavamiento electrónico

Las dificultades en la operación de señales y desvíos dio lugar a la búsqueda de soluciones para relacionar físicamente las posiciones del desvío con las señales que protegen o autorizan las rutas sobre el mismo. En otras palabras, enclavar la posición del desvío con la autorización de la señal.

La posibilidad de tener tanto las palancas de maniobra de los desvíos como las señales concentradas en una cabina permitió extender el concepto de enclavamiento no solamente al conjunto de señales-cambio de un desvío sino al conjunto de las relaciones entre desvíos y señales de una estación, aumentándose la seguridad en el establecimiento de una ruta y por consiguiente, en el movimiento de los trenes.

El enclavamiento (cuyo aspecto físico se aprecia en la figura 12) es un equipo de control que relaciona la posición de los aparatos con la indicación de la señales, evitando de forma segura que pueda abrirse una señal (autorizarse un movimiento a un tren) si existe ya otra ruta autorizada que pudiera implicar un peligro de colisión entre trenes (existe la amenaza de un accidente).

A las palancas de maniobra de cambios y señales se añadieron otras maneras de itinerarios que enclavaban unas con otras, impidiendo que se pudieran establecer otras rutas incompatibles.

Aparece la obligación de establecer, en las zonas de estación, un sistema de protección para el mando y control de los desvíos tal que sólo se permitiera la apertura de la señal que tuviera comprobada la correcta posición de las agujas en la ruta que se autorice para el movimiento del tren. Al mismo tiempo, debía de excluir la posibilidad de dos movimientos incompatibles sobre la misma ruta.

En la siguiente figura 11, se muestra cuatro ejemplos claros de control de enclavamiento para que no existan rutas incompatibles y que dos trenes no coincidan en el mismo circuito de vía, evitando así una colisión. Las señales en blanco dan permiso de seguir al siguiente circuito de vía, en negro prohíben la circulación en ese sentido. Podemos comprobar, que cuando la señal esta abierta en un sentido, las señales que pertenecen al mismo circuito de vía pero en sentido opuesto están cerradas para no permitir la circulación de trenes en la misma vía en sentido opuesto.

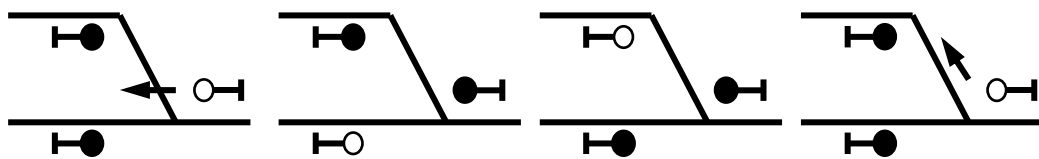


Figura 11. Ejemplo de rutas controladas por enclavamiento electrónico [7]

El aspecto real del equipo de control (enclavamiento) se muestra en la figura 12. Este equipo envía la información de las condiciones de la vía para regular la circulación de los trenes. Estas condiciones variarán en función de las condiciones de la propia vía, la posición de los trenes y las rutas que están establecidas y aseguradas por el enclavamiento.

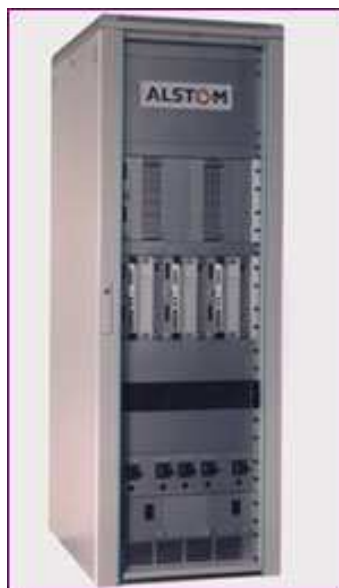


Figura 12. Imagen de Radio Block Center (RBC) [13]



El objetivo fundamental del subsistema enclavamiento es el siguiente:

- Establecer un principio y un fin de ruta que determinen un camino físico por el que pueda circular un tren.
- Garantizar la no coincidencia entre rutas en espacio y tiempo.
- Enviar información de señalización correcta en lugar y momento adecuado al responsable de controlar la velocidad del tren.

Para ello, el enclavamiento se encarga de establecer el aspecto de las señales en función de los itinerarios establecidos, mover las agujas a la posición adecuada, controlar la posición de los trenes, la información de seguridad que se emite a los sistemas embarcados y el estado de los pasos a nivel y otros elementos.

2.4 Sistema Automatic Train Protection (ATP)

Los primeros sistemas de señalización tenían únicamente equipamiento en vía. En estos sistemas la responsabilidad de la seguridad en la conducción recae en el maquinista, respetando las indicaciones de las señales.

Los sistemas de protección de tren (ATP) supervisan la velocidad de forma continua y proporcionan al conductor información del punto de parada y de la velocidad máxima que puede circular. En caso de sobrepasarla aplicará los frenos de servicio o los de emergencia. Nunca se podrá rebasar una señal en rojo por lo que evita totalmente los accidentes. Supervisión continua de la velocidad. El conductor recibe información del punto y velocidad objetivos. Si en cualquier momento se sobrepasa la velocidad se aplican los frenos de servicio. El equipo de vía consta de una serie de balizas interconectadas con las señales y enclavamientos.

Los principales objetivos de este sistema son:

- Evitar choques de trenes, complementando a la señalización lateral ya existente y avisando al maquinista en caso de peligro.
- Evitar velocidades peligrosas en los trenes, garantizando el cumplimiento de los límites de velocidad, accionando el freno de servicio o el freno de emergencia cuan sea necesario.

- Informar al maquinista presentando el aspecto de las señales y dándole instrucciones proporcionando más información del estado de la vía.
- Mejorar las prestaciones de la línea.

2.5 Sistema ASFA (Anuncio de Señales y Frenado Automático)

Es un sistema de repetición de señales en cabina con ciertas funciones de control de tren. Se basa en la transmisión puntual vía-locomotora para garantizar el cumplimiento de las órdenes establecidas por las señales convencionales.

ASFA está compuesto por una serie de equipos instalados en la vía (emisores) y en el tren (receptores). Los primeros informan al tren, al paso por determinados puntos denominados balizas, del estado de las señales y de las restricciones a la marcha en los siguientes cantones. Los equipos de la vía denominados Balizas de Control (una previa y otra de pie de señal) situadas en el plano de la vía y en el sentido de la circulación a una distancia entre sí de 300 metros aproximadamente.

En la figura 13 se muestra un esquema de la funcionalidad de este sistema. La baliza ASFA de la vía informa al tren de las restricciones de la circulación y del estado de las señales. El sistema embarcado en el vehículo transmite esa información al maquinista, que debe en todo caso reconocer su recepción. En caso de que, pasados unos segundos tras la lectura de la baliza, no se produzca dicho reconocimiento, o no se adecue la marcha a las condiciones impuestas por la señal, el equipo ASFA ordena automáticamente al tren que se detenga, accionando el freno de emergencia.

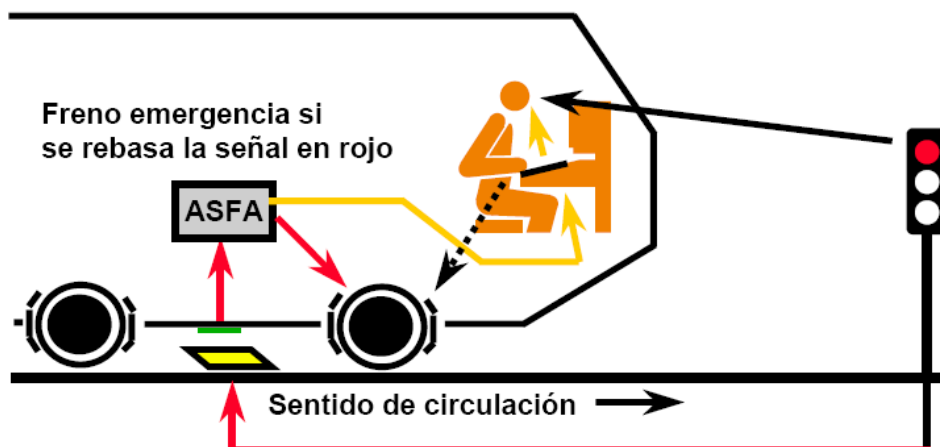


Figura 13. Esquema de la funcionalidad del sistema ASFA [4]



2.6 Rutas

Es la sección de vía mínima asegurada por el enclavamiento para permitir el paso de trenes. Una vez que el enclavamiento asegura una ruta, controla que se cumplan las condiciones que autorizan el paso de trenes.

Una ruta siempre empieza en una señal y puede terminar en otra señal, en una topera o en un circuito libre.

Las condiciones básicas para establecer una ruta son las siguientes:

- Todos los CV que componen la ruta están libres.
- Las agujas se mandan a la posición adecuada y se comprueban mediante el enclavamiento.
- No hay establecida otra ruta incompatible.

Cuando el enclavamiento recibe la orden de establecer una ruta, examina si las condiciones de compatibilidad con otras rutas, ya establecidas, permiten su formación. En caso afirmativo, manda las agujas a la posición adecuada, las enclava y establece las condiciones de incompatibilidad para el resto de posibles rutas. En caso negativo, el enclavamiento rechaza la orden de formación de ruta y mantiene las agujas afectadas en la misma posición que tuvieran a la llegada de esta orden.

En la figura 14 se pueden ver tipos de ruta o itinerario que puede realizar un tren:

- Rutas dentro de una dependencia ■
- Rutas entre estaciones ■
- Maniobras: Marcha a la vista hacia/de vía ocupada o no controlada ■

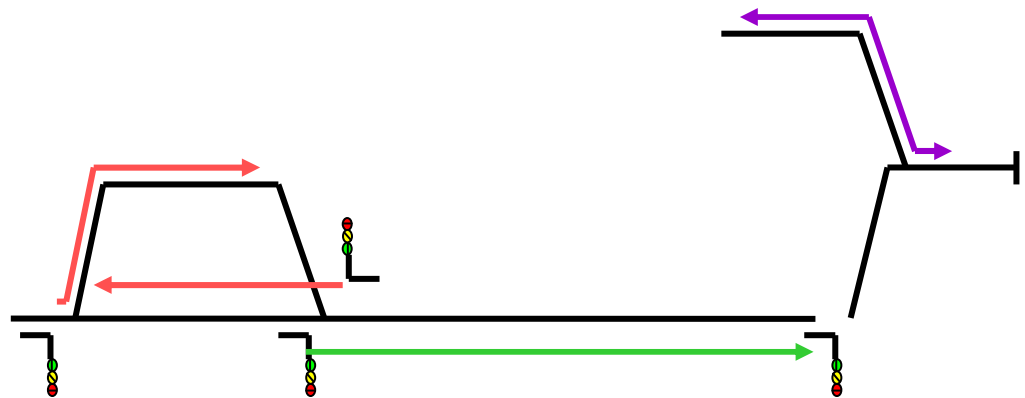


Figura 14. Tipos de rutas

3 TECNOLOGÍA ERTMS

3.1 Situación previa

La señalización en Europa cuenta con una diversidad técnica y operacional en cada país, cada uno cuenta con sus propios sistemas de señalización y criterios de operación. En la siguiente figura 15 vemos los sistemas operativos de gestión de tráfico ferroviario definido en cada país.

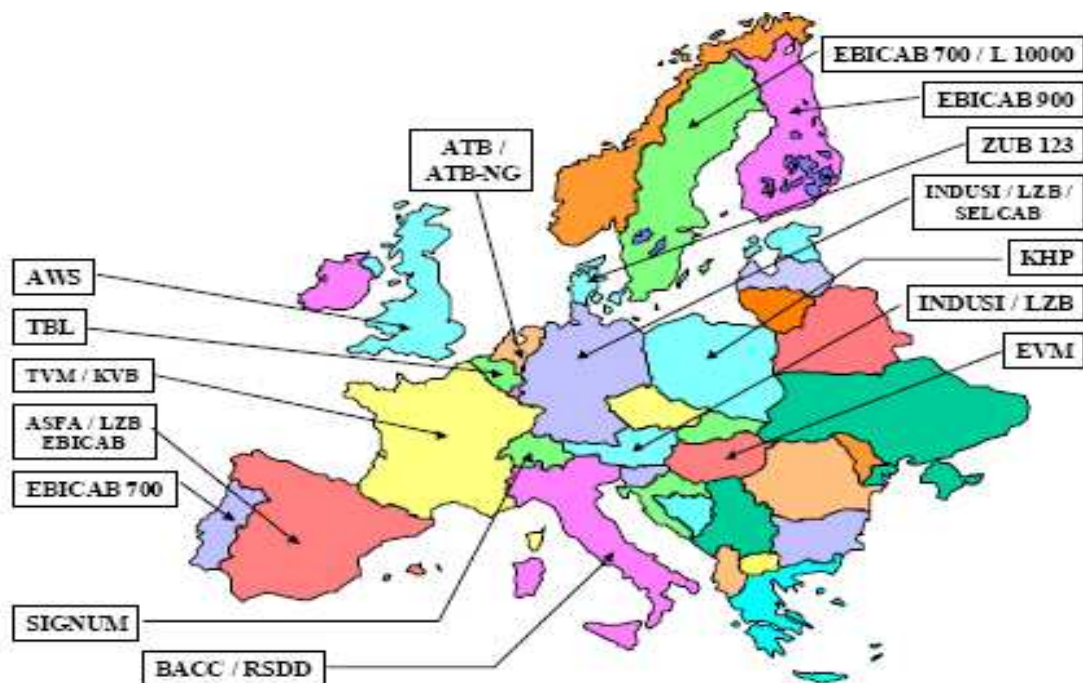


Figura 15. Sistemas de Señalización en Europa [7]

Debido a esto, no es posible la operación de líneas a través de varios países o incluso líneas de dentro de un mismo país o es muy costosa y penaliza en gran medida la explotación y seguridad de los sistemas. En la figura 16 se muestra una imagen muy ilustrativa de los problemas de entendimiento entre diferentes sistemas de señalización en Europa.

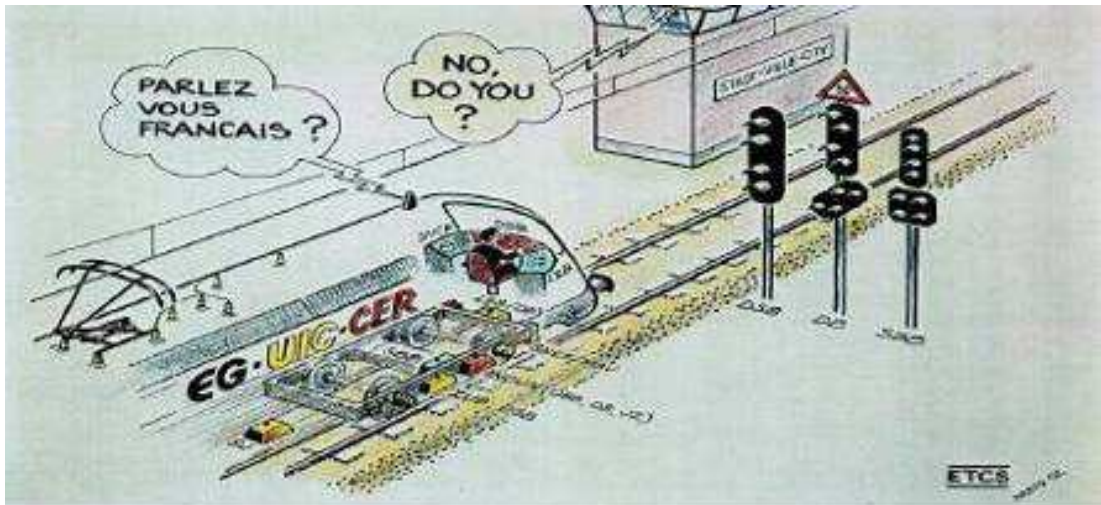


Figura 16. Dibujo ilustrativo de los problemas de interoperabilidad [7]

3.2 ¿Qué es ERTMS?

En el momento actual existen en Europa más de veinte sistemas de señalización y control de la velocidad que son totalmente incompatibles entre sí. Como se ha explicado en el punto anterior, existen multitud de problemas y el transporte ferroviario no es competitivo frente a otros medios de transporte.

Para facilitar la operabilidad entre países, la Comisión Europea crea el sistema ERTMS (European Rail Traffic Management System). Este sistema está destinado a remplazar los numerosos sistemas de señalización existentes. El sistema no permite solamente transmitir al conductor las informaciones relativas a la velocidad autorizada, sino también controlar permanentemente el respeto de estas indicaciones. El ordenador de a bordo compara la velocidad del tren con la velocidad máxima permitida y frena automáticamente el tren en caso de que ésta sea sobrepasada.



3.3 Evolución

- 1990: Impulsado por la Comisión Europea
- 1996: Se crea la Directiva Europea 96/48/CE relativa a la interoperabilidad del sistema ferroviario transeuropeo de alta velocidad: marcan las directrices a seguir por el sistema europeo de señalización ferroviaria ERTMS (European Rail Traffic Management System).
- 1998/99: se funda UNISIG (UNion Industry of SIGnaling) por petición de la comisión Europea para redactar las especificaciones técnicas para ERTMS/ETCS, se unen los principales compañías de señalización:



- 2000: Se la firman en Madrid las Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad (ETI) aceptadas por todos los agentes involucrados en este proceso: las compañías ferroviarias nacionales y los fabricantes de sistemas de señalización.

3.4 Funcionalidad y Niveles ERTMS

El objetivo del ERTMS es dar al tren la información necesaria para poder avanzar de manera segura y supervisada. Para ello, al tren se le envía un MA (Movement Authority) que es una “Autorización de movimiento” hasta un punto. También se le envía toda la información necesaria relacionada con la ruta, el gradiente, límites temporales de velocidad, condiciones de la vía, etc.

El tren recibe toda esta información por el equipamiento de vía:

- En ERTMS Nivel 1 por medio de balizas.
- En ERTMS Nivel 2 por medio del Radio Block Center (RBC). En el punto 3.5.4 se explica con más detalle este equipo de vía, dentro de la funcionalidad de Nivel 2.
- En Nivel 3 se transmite por medio de Radio Block Center.

3.4.1 Eurocabina

Es el ordenador de a bordo del tren y gestiona el movimiento del tren en función de los parámetros que le llegan y la información recibida de la vía. Para esto dispone de una serie de canales de comunicación para relacionarse con el resto de elementos. La Eurocabina (figura 17) procesa esta información y elabora las curvas de frenado evaluando los perfiles de velocidad, controla la velocidad permitida y las actividades de frenado, accionando el freno de servicio y el de emergencia cuando sea necesario.



Figura 17. Eurocabina [8]

3.4.2 Funcionalidad Nivel 0

El Nivel 0 fue creado en ERTMS para aquellos casos en los que hubiera tramos de vía que no tuviesen ningún tipo de protección ATP y por los que fueran a pasar trenes ERTMS. Con esto se logra que cualquier tren equipado con ERTMS esté operando bajo algún nivel y por tanto esté cumpliendo la interoperabilidad en la señalización ferroviaria. Es el maquinista el único responsable de la seguridad del tren. En la figura 18 se ve que el maquinista la única información que le llega es la que visualmente observa de la vía.

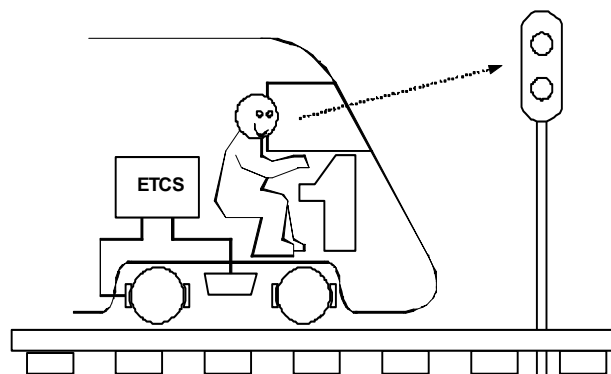


Figura 18. Esquema de funcionalidad Nivel 0 [7]

3.4.3 Funcionalidad Nivel 1

En este nivel, la localización del tren y su identificación se realiza por medio de circuitos de vía y balizas situadas a lo largo de la línea y asociadas a las señales laterales. Se basa en enviar información al tren desde la vía de forma discontinua. Esta información se transmite al equipo embarcado del tren por medio de las balizas fijas o conmutables.

3.4.3.1 Equipos de vía

LEUs: Son los dispositivos electrónicos que generan los telegramas que son enviados por las balizas. En base a la información recibida por el enclavamiento, el LEU (figura 19) seleccionará el telegrama que debe enviar la baliza al tren en un momento determinado de acuerdo a las condiciones de señalización.



Figura 19. Imagen LEU [12]

Balizas fijas: La información que ofrece estas balizas es información difícil de modificar, cómo restricciones de velocidad por curvas, gradientes, valores naciones, condiciones de la vías...

Balizas conmutables: La información que dan estas balizas se relaciona con la situación del tráfico ferroviario, dependiendo de itinerarios, de autorizaciones de movimiento, restricciones de velocidad por paso de agujas...

El aspecto físico de estas balizas (fijas y conmutables) es el mismo y se muestra en la figura 20. La programación y la conexión de las balizas conmutables a los LEUs es la diferencia.



Figura 20. Imágenes de balizas en línea [16]

Las balizas conmutables están conectadas a los LEUs, éstos obtienen por medio del enclavamiento la información de la vía.

Balizas Infill: Estas balizas adelantan la información del siguiente Grupo de Balizas, para que el tren sepa con antelación la situación de lo que se va a encontrar más tarde en la vía.

3.4.3.2 Movimientos Nivel 1

En la figura 21 se muestra como realiza las curvas de frenado y circula un tren en Nivel 1. La baliza de pie de señal le manda la información al tren del estado de la señal. La información es puntual, y la eurocabina elabora las curvas de frenado en función de la información que le transmite las balizas. En 'A' se ve cómo el tren 1 está situado en el circuito de vía 3, por lo que la señal luminosa que debe mostrar el estado para entrar en este circuito de la señal en rojo, prohibiendo el paso. La autorización de movimiento al tren 2 se le da desde el circuito de vía 1 hasta el final del circuito de vía 2. La señal luminosa en verde le permite el paso a la misma velocidad. La señal amarilla le avisa que la siguiente señal luminosa ofrece el estado en rojo, por lo que elabora su curva de frenado para no rebasar esta señal.

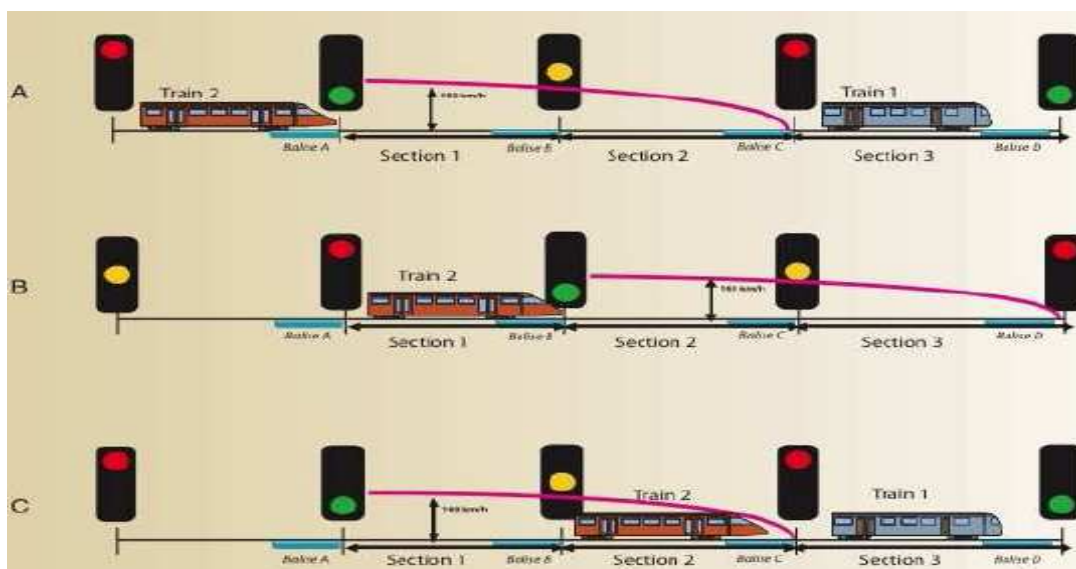


Figura 21. Movimientos del tren en Nivel 1[15]

3.4.4 Funcionalidad Nivel 2

El Nivel 2 es un sistema de operación basado en el envío de información continua desde la vía al tren. La información se transmite desde la vía al tren por medio de un nuevo elemento de gestor de tráfico, el RBC (Radio Block Center), que explicaremos en más profundidad su funcionamiento en el siguiente punto "Equipos de vía". Esta información se transmite vía radio mediante la tecnología GSM-R, la cual es la tecnología radio pero usando una banda de frecuencias reservadas a los ferrocarriles.

Las balizas siguen estando presentes pero no transmiten información de señalización, sino que son utilizadas como referentes geográficos.

Las balizas Infill ya no son necesarias puesto que hay comunicación continua entre la vía y el tren.

El equipo de a bordo transmite su posición e identificación al RBC para que éste pueda enviarle la información de señalización correcta.

En el Nivel 2 cada RBC controla un área concreta de la vía siendo necesarios, generalmente, varios RBCs para una línea completa.

En la figura 22, se muestra el esquema del Nivel 2, en el que las señales luminosas son opcionales. La información de estas señales se las da continuamente el RBC y por medio de la eurocabinas, el maquinista supervisa sus estados en el DMI. Una de las razones por las que el RBC tiene que darle el estado de todas las señales es que a 350 km/h, que es la velocidad máxima en la que puede circular el tren en este nivel, es muy complicado verlas para el ojo humano.

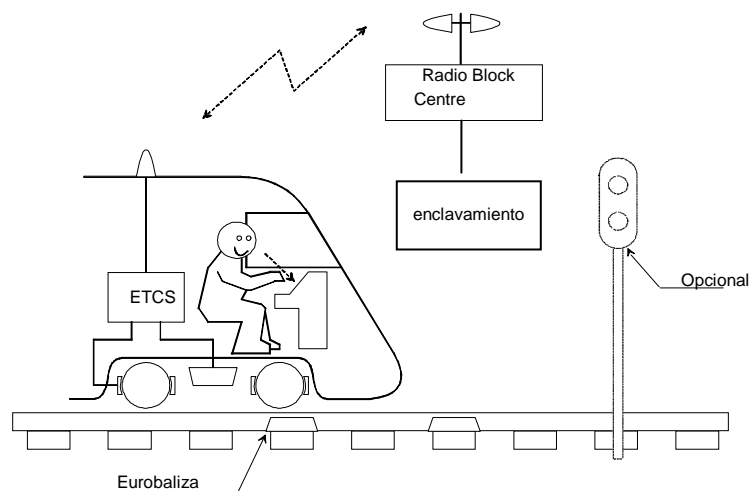


Figura 22. Esquema de funcionalidad Nivel 2 [7]

3.4.4.1 Equipos de vía

Radio Block Center (RBC): Es el equipo principal de vía en Nivel 2 y tiene como finalidad principal proveer a los trenes equipados de Nivel 2 de autorizaciones de movimiento dentro del área de infraestructura ferroviaria bajo su responsabilidad. Las limitaciones temporales de velocidad y otra información nacional de ámbito ajeno a ERTMS pueden establecerse o comunicarse desde el PCE (Puesto Central ERTMS), que transmite después esta información a los RBCs, y estos a su vez a los trenes supervisados. El RBC dispone de puestos locales para operación y mantenimiento. El RBC se conecta al enclavamiento o enclavamientos y obtiene información del estado de los elementos de vía necesaria para generar las autorizaciones de movimiento a los trenes que viajan en Nivel 2. Para cubrir una línea de alta velocidad pueden distribuirse varios RBCs, cada uno de los cuales supervisará un área bien definida. Los RBCs se conectan entre sí para transmitirse, entre ellos, información de los trenes que viajan en ERTMS. El RBC envía toda la información necesaria al tren vía GSM-R para que pueda circular por la vía.

En el puesto local de operador de cada RBC es posible que el área mostrada sea más amplia que el área de Nivel 2 o área de supervisión del RBC. Esto es porque un RBC necesita normalmente conocer algunos elementos de vía, por fuera de su área de supervisión, para posicionar los trenes que entran o salen de aquella.



Figura 23. Radio Block Center [12]

Balizas fijas: El equipo de vía de Nivel 2 se compone además de balizas fijas instaladas en la vía que transmiten información a los trenes que viajan en Nivel 2 y que permiten al RBC localizar los trenes en la línea y aportarle información difícil de modificar en la vía. Estas balizas no sólo transmiten información a los equipos de a bordo, sino que son necesarias para que los RBCs conozcan la posición de los trenes. Las balizas contienen información del estado de la vía. Las utilizadas por el sistema ERTMS N2 son:

- Establecimiento / recuperación / cancelación de sesión con el RBC
- Transición a los RBCs colaterales
- Relocalización
- Transición a Nivel 1/Nivel 0 en salidas del área de Nivel 2

Balizas de sesión (establecimiento, recuperación y cancelación)

Por fuera de un área de Nivel 2 y en todas las rutas que lleven a ella, se colocan balizas de sesión que dan la orden a los trenes que se mueven en dirección de



entrada al área de establecer una sesión de comunicación con el RBC mediante el paquete 42 de establecimiento de comunicación. La colocación de estas balizas tiene en cuenta el tiempo necesario para establecer una sesión de comunicación entre RBC y equipo de a bordo del tren. En la posición del grupo de balizas debe haber cobertura GSM-R.

Todas las balizas de establecimiento de sesión contienen también los valores nacionales.

Por fuera de un área de Nivel 2 y en las rutas de salida de ésta se colocan balizas que ordenan la finalización de la sesión de comunicación.

Para que los trenes que viajan dentro del área equipada para Nivel 2 puedan recuperar, en caso de pérdida, la conexión de radio con el RBC, se instala, en distintos puntos a lo largo de la vía, el paquete con la orden de establecimiento de sesión de radio con el RBC zonal.

La distancia máxima de separación entre estas balizas de recuperación de sesión es de 15 km. (se pretende que un tren no pueda recorrer una distancia mayor a la distancia entre dos dependencias sin poder recuperar la comunicación con el RBC). No se coloca orden de establecimiento de sesión de radio cerca de la frontera con otro RBC puesto que ya existe una orden en la propia frontera.

Balizas de transición de RBC

Se colocan en la frontera entre dos RBCs. Dan la orden de transición del RBC emisor al receptor y la de establecer sesión con el RBC colateral para en el sentido de movimiento hacia ese RBC. Estas balizas contienen también los valores nacionales. Estas balizas deben contener el paquete 131 de orden de transición de RBC y el paquete 42 de establecimiento de comunicación.

Balizas de relocalización

Para limitar la imprecisión en la localización del tren, los grupos de balizas en la línea no deben distar entre sí más de 1705m . Se puede usar cualquier grupo de balizas enlazado como referencia de localización. Una vez definida la posición de todos los restantes grupos de balizas, se añaden en caso necesario balizas de relocalización para garantizar que no se supera esta distancia entre grupos adyacentes. Estas

balizas no contienen información relevante de ETCS, sólo la información en la cabecera del telegrama es relevante.

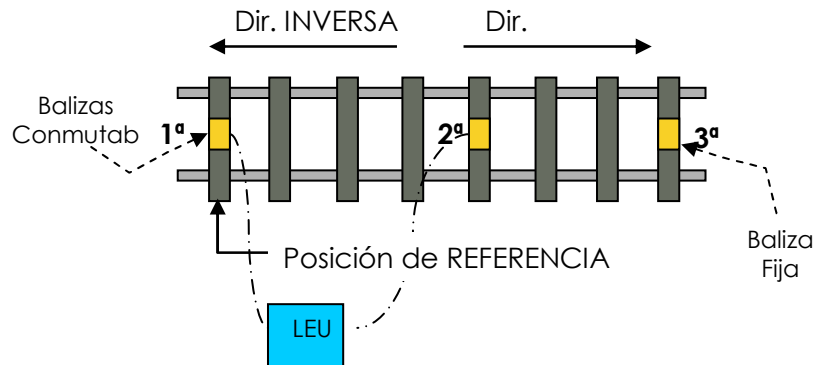


Figura 24. Esquema de colocación y conexión de balizas en la vía [7]

3.4.4.2 Transiciones programadas de entrada o salida a Nivel 2

Transición de ERTMS Nivel 0/Nivel 1 a ERTMS Nivel 2 : El anuncio de transición se dará en una baliza de establecimiento de sesión mediante el paquete 42 con distancia programada equivalente al tiempo necesario para que el equipo embarcado establezca la sesión con el RBC y pueda recibir una MA del Nivel 2. Una vez establecida la sesión de comunicación con el RBC, éste comenzará a enviar la MA y las LTVs en el área de la misma. La orden de transición se dará por el RBC.

Transición de ERTMS Nivel 2 a ERTMS Nivel 0/Nivel 1: La salida a Nivel 0 o es ordenada por baliza, no por el RBC. Las transiciones a Nivel 0/Nivel 1 se anuncian en un grupo de balizas antes de la frontera entre Niveles (el anuncio contiene la transición a Nivel 0). En la misma frontera se sitúan balizas que dan la orden de transición inmediata a Nivel 0. La orden de transición se dará por el RBC. La orden de transición se dará en baliza mediante un paquete 41 con ejecución inmediata dando como valor a la variable “ahora” (D_LEVELTR = now)

3.4.4.3 Señales virtuales

Estas señales son de existencia aparente aunque no real. No existen físicamente como señales luminosas reales pero a efectos del RBC sí que sirven como inicio y final de una Autorización de Movimiento, ya que estas autorizaciones siempre se dan de señal a señal. Permiten la circulación de más trenes y aseguran la regularidad de la circulación.

3.4.4.4 Movimiento de Nivel 2

A continuación, en la figura 25 vemos el movimiento del tren en Nivel 2. Se observa que no son necesarias las señales luminosas como se ha explicado con anterioridad. EL RBC está en continua comunicación con el tren enviándole información continua del estado de la vía y actualizándole de manera constante la autorización de movimiento. De esta forma al tren no le hace falta pasar por ningún punto en concreto para elaborar su curva de frenado, sino la va actualizando continuamente.

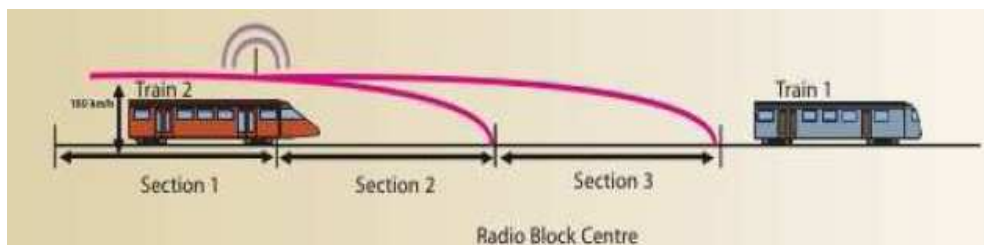


Figura 25. Movimiento del tren en Nivel 2 [15]

3.4.5 Funcionalidad Nivel 3

El Nivel 3 es una evolución del Nivel 2 que consigue mejorar las prestaciones. La diferencia fundamental con el Nivel 2 es que el equipo de a bordo tiene información continua de la integridad del tren. Si en Nivel 2 el tren perdiese un vagón, sería detectado por la ocupación de dos circuitos de vía, en este nivel a diferencia, el propio equipo embarcado por un lazo de seguridad lo detectaría informando al RBC y actuando en consecuencia.

El Nivel 3 permite aproximar dos trenes a la distancia de frenado entre ellos (límite de seguridad). El punto de parada (dinámico) del segundo tren es la parte trasera del tren que lo precede, sin importar la ocupación de los circuitos de vía. Abajo se ve en la figura 26 el esquema de la funcionalidad del nivel 3. Como principal diferencia vemos un módulo de integridad del tren y que el enclavamiento está integrado en el RBC, representando de esta manera que los circuitos de vía los controla el RBC.

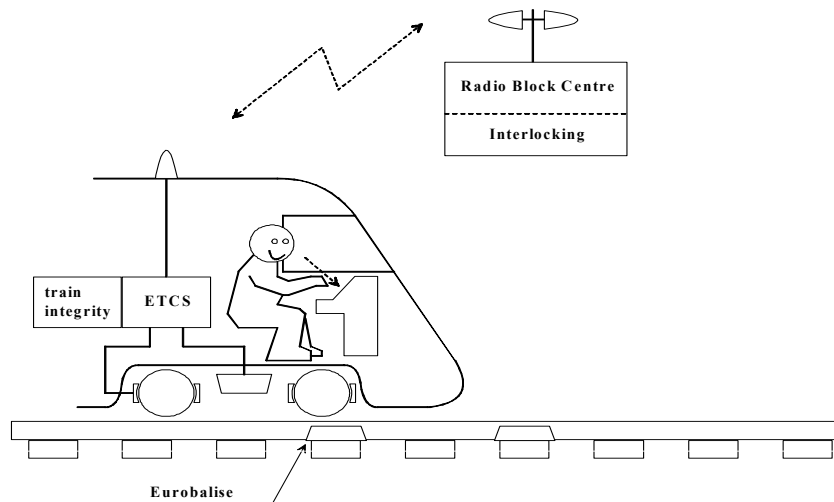


Figura 26. de funcionalidad Nivel 3 [7]

3.4.5.1 Movimiento de Nivel 3

En la figura 27, se puede comprobar los movimientos del tren en Nivel 3, vemos que la principal diferencia con los movimientos en Nivel 2 son los circuitos de vía. En esta imagen vemos que no existen circuitos de vía, controlando en todo momento el RBC la posición exacta del tren. De esta manera se puede aproximar más un tren a otro.

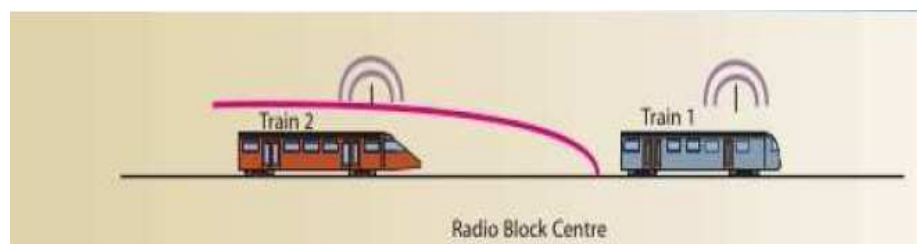


Figura 27. Movimiento del tren en Nivel 3 [15]

3.5 Arquitectura de los subsistemas de a bordo

El equipo de a bordo del tren está compuesto por los siguientes elementos.

- EVC (European Vital Computer)
- DMI (Driver Machine Interface)
- JRU (Juridical Recorder Unit)

EVC (European Vital Computer): Es el ordenador de a bordo del tren y gestiona su funcionalidad. Dispone de una serie de canales de comunicación para relacionarse con el resto de elementos. El EVC transmite al DMI toda la información necesaria para que el maquinista opere el tren (velocidad actual, velocidad meta...) y recibe del DMI aquellas acciones que el maquinista hace (reconocimientos, datos introducidos ...). El aspecto real de este equipo se muestra en la figura 28.



Figura 28. European Vital Computer [12]

JRU (Juridical Recorder Unit): El EVC transmite al JRU toda la información necesaria sobre el estado del tren para que, en caso de alguna incidencia, se puedan investigar las causas de ella. Es parecido a las cajas negras de los aviones.

DMI (Driver Machine Interface): Es el constituyente que permite al maquinista operar el tren en ERTMS. Por un lado se comunica con el EVC y por otro con el maquinista.



Figura 29. Driver Machine Interface [7]



3.6 Modos de operación

A continuación se van a describir los cuatro modos de operación habituales de un tren de alta velocidad.

3.6.1 Supervisión Completa (Full Supervision)

El tren en este modo tiene una supervisión completa y circula totalmente seguro. No puede ser seleccionada por el conductor, se activará automáticamente cuando cumpla todas las condiciones necesarias:

- Perfil Estático de velocidad (SSP)
- Perfil de Gradientes
- Autoridad de Movimiento (MA)

El SSP y el gradiente deben estar disponible para la parte frontal del tren. El equipo de a bordo supervisará movimientos de tren contra un perfil de velocidad dinámico y mostrará la velocidad de tren, velocidad permitida, la distancia objetivo y la velocidad objetivo al conductor. Se usan para los niveles 1, 2 y 3.

Responsabilidad del maquinista: El equipo ERTMS es totalmente responsable de la protección del tren cuando se encuentre operando en este modo, cuando se produce la entrada al modo Full Supervision el conductor es responsable de respetar las limitaciones de velocidad.

3.6.2 Maniobra (Shunting)

Este modo se utiliza para movimientos de maniobra. Supervisa los movimientos frente a una velocidad máxima de maniobras y señales especiales de parada en modo de maniobras. El equipo ERTMS dará la posición del tren. No podrán hacerse transiciones de nivel ni intercambio de información RBC-RBC. Sólo podrá seleccionar este modo el conductor si el tren está en parada o lo permiten los equipos de vía. En nivel 1 sólo valdría con activar el interruptor (en nivel 2 y 3 el equipo de a bordo pedirá al equipo de vía una autorización). El tren sólo es parcialmente supervisado por el equipo ERTMS por lo que el conductor toma la responsabilidad. El equipo ERTMS de a bordo mostrará la velocidad del tren. Usado en niveles 0, 1, 2 y 3.



Responsabilidad del maquinista: El equipo ERTMS de a bordo es responsable de la supervisión del límite de velocidad de maniobras. El conductor es responsable de los movimientos del tren y de todas las operaciones.

3.6.3 Personal Responsable (Staff Responsible)

Este modo permite al conductor mover al tren bajo su propia responsabilidad en ciertas circunstancias, por ejemplo, que el equipo de a bordo acaba de arrancar y no tiene información de un grupo de balizas, o tras un fallo de vía (pérdida de baliza, sin comunicación con el RBC...)

El equipo de a bordo supervisará movimientos de tren frente a una velocidad máxima (valor nacional), una distancia máxima, una lista de balizas, una información enviada por el RBC o si se da la orden de parada en modo SR. Este modo permite al maquinista mover al tren bajo su responsabilidad a la espera de recibir información de vía que le permita operar en un modo más seguro. Como no se sabe el gradiente, este modo no asegura el frenado en la distancia dada porque se desconoce la curva de frenado. El equipo de a bordo dará la posibilidad al conductor de cambiar la velocidad máxima y la distancia siempre que el tren esté en parada. Se puede pedir MA al RBC, por cada MA nuevo que tengamos éste corregirá al anterior. El valor de velocidad será el último valor introducido por el conductor, mientras el último valor aplicado a la distancia será el último valor introducido por el RBC o conductor. El equipo ERTMS de a bordo mostrará la velocidad del tren y la velocidad permitida será sólo indicada si es pedida por el conductor. Usado en niveles 1, 2 y 3.

Responsabilidad del maquinista: El equipo ERTMS de a bordo supervisa una velocidad máxima. El conductor debe comprobar si la pista es libre y tiene que respetar toda señalización existente (señales, velocidad...) Si modifica la velocidad y distancia dada el conductor es responsable de entrar en valores razonables.

3.6.4 A la vista (On Sight)

Se utiliza para permitir entrar a un tren en una zona que puede estar ocupada por otro tren u obstruida por un obstáculo. Este modo sólo puede autorizarlo el equipo de vía; el conductor no puede seleccionarlo. El equipo de a bordo supervisa movimientos de



tren contra un perfil de velocidad dinámico. El equipo ERTMS de abordó mostrará la velocidad del tren al conductor. La velocidad permitida, la distancia objetivo y la velocidad objetivo serán indicadas sólo por la petición de conductor. El SSP y el gradiente no requiere toda la longitud del tren, sino la parte frontal. Si el RBC manda la señal de que la vía está libre, solicita al maquinista que puede entrar en este tramo. Usados en nivel 1, 2 y 3.

Responsabilidad del maquinista: El equipo ERTMS es responsable de la supervisión de los movimientos de tren. El conductor es responsable de comprobar que la ocupación de pista no esté ocupada.

A continuación detallamos todos los demás modos de operación del equipo ERTMS, para situaciones degradadas, de fallo u otras.

3.6.5 Aislamiento (Isolation)

Se utiliza para cuando surge la necesidad de seguir operando un tren cuando el equipo ERTMS de abordó no está disponible debido a un fallo. Permite aislar el equipo de otro equipo/sistemas de a bordo (incluyendo al conductor) y físicamente aislado de los frenos. Se usan en niveles 0, 1, 2 y 3.

Responsabilidad del maquinista: El conductor tiene responsabilidad completa, el tren está sin protección ATP, cuando el equipo ERTMS es aislado éste no tiene responsabilidad alguna.

3.6.6 Sin energía (No Power)

Cuando el equipo ERTMS no está alimentado se crea este modo, ya que hay que definir todos los escenarios posibles para poder hacer realizar las transiciones. Se usan en niveles 0, 1, 2 y 3.

Responsabilidad del maquinista: El equipo ERTMS de a bordo no tiene ninguna responsabilidad excepto cuando ordena el freno de emergencia. La responsabilidad del conductor no es relevante para este modo.



3.6.7 Fallo del sistema (System Failure)

Este modo aparece cuando el quipo de abordó detecta un fallo interno que imposibilita seguir operando con seguridad. Cuando el equipo ERTMS tenga un defecto que afecta a la seguridad. El equipo de abordó mandará los Frenos de Emergencia. Se usa en todos los niveles.

Responsabilidad del maquinista: El conductor no tiene responsabilidad, el equipo ERTMS es el responsable de mandar los Frenos de Emergencia.

3.6.8 Dormiente (Sleeping)

Se utiliza para manejar el equipo ERTMS de a bordo es esclavo que es controlado por otro remoto. Al ser remoto, su equipo ERTMS de abordó no realizará ninguna supervisión de movimiento de tren pero sí realizará función de posición de tren. Para poder usar este modo debe existir conexión eléctrica entre ambos equipos. Usado en todos los niveles.

Responsabilidad del maquinista: El equipo ERTMS de a bordo no tiene ninguna responsabilidad de la protección del tren. La responsabilidad del conductor no es relevante. El motor principal es el responsable del movimiento del tren. Es entonces el equipo ERTMS de a bordo del motor principal el responsable de la protección del tren.

3.6.9 Arranque (Stand By)

Es un modo no puede ser seleccionado por el conductor. Es el modo en el que arranca el tren por defecto, el maquinista introduce los datos del tren que va a emplear y el equipo de a bordo hará la supervisión del tren en parado, no permitirá que el tren se mueva más que de una distancia configurable. Usado en todos los niveles.

Responsabilidad del maquinista: El equipo ERTMS de a bordo es el responsable de mantener el tren en la parada. El conductor no tiene ninguna responsabilidad de los movimientos del tren.



3.6.10 Obsoleto (Unfitted)

Se utiliza en vías que no son equipadas con ningún sistema de señalización ERTMS, o se está instalando o en vías que hay un sistema ATP nacional. Se supervisa la velocidad máxima del tren frente al valor nacional. Se le muestra la velocidad al maquinista. Usado en nivel 0.

Responsabilidad del maquinista: El equipo ERTMS supervisa las limitaciones de velocidad. El conductor debe respetar todas las señales y es total responsable de los movimientos de tren.

3.6.11 Peligro (Trip)

Se pone en este modo cuando el equipo de abordaje detecta una situación peligrosa, cuando excede un MA, pierde comunicación con RBC (niveles 2 y 3) o excede la velocidad permitida mandará el ERTMS que actúen los frenos de emergencia. Primero el equipo de abordaje manda una advertencia al conductor. Cuando el tren pare el maquinista debe hacer un reconocimiento del tren. Usado en niveles 1, 2 y 3.

Responsabilidad del maquinista: El equipo ERTMS es el encargado de parar al tren y mantenerlo en la posición de parada. El conductor no tiene ninguna responsabilidad del movimiento del tren.

3.6.12 Post Peligro (Post Trip)

Se entra en este modo inmediatamente después de pasar por el modo TRIP y haber recibido el reconocimiento del maquinista. En este modo se liberará el freno de emergencia. El equipo de a bordo solo permitirá mover hacia atrás el tren una distancia dada (valor nacional) por si existiese una situación potencialmente peligrosa. Usado en niveles 1, 2 y 3.

Responsabilidad del maquinista: El equipo ERTMS de a bordo es responsable de supervisar los movimientos del tren y que no excedan de una distancia permitida. El maquinista es responsable del movimiento hacia atrás del tren.



3.6.13 Marcha atrás (Reversing)

Permite al tren ir marcha atrás desde la misma cabina. Se usa para permitir al tren escapar de una situación peligrosa y encontrar una posición más segura. El equipo ERTMS supervisará los movimientos del tren en contra de una velocidad máxima y una distancia máxima. Si sobrepasa estos valores se activará el freno de emergencia. En el caso del nivel 2 y 3, si el RBC da una nueva distancia esta información superpondrá la anterior. El equipo ERTMS de a bordo mostrarla la velocidad de tren, la velocidad permitida y la distancia que falta por correr. El equipo ERTMS en nivel 2 y 3 enviará informes de posición al RBC. Usado en niveles 1, 2 y 3.

Responsabilidad del maquinista: El equipo ERTMS supervisa una velocidad máxima y una distancia para recorrer en dirección inversa. El conductor debe responsabilizarse del movimiento del tren dentro de la distancia permitida por recorrer.

3.7 Lenguaje del sistema

El lenguaje ERTMS está basado en los siguientes conceptos:

Variables: Se trata de la unidad atómica de información con significado

Paquetes : Son un conjunto de variables agrupadas con una estructura

Telegramas: Está compuesto por una cabecera y un conjunto de paquetes.

Mensajes: Es el conjunto de varios telegramas

Variables

- Están tipificadas, de acuerdo con un significado
- Pueden tener valores especiales asociadas al tipo de la variable
- Los nombres de las variables son únicos



Las variables tienen un prefijo que hace referencia a su tipo:

A_ : Aceleración	D_ : Distancia
G_ : Gradiente	L_ : Longitud
M_ : Miscelánea	N_ : Número
NC_ : Número de clase	NID_ : Identificador
Q_ : Modificador	T_ : Tiempo/Fecha
V_ : Velocidad	X_ : Texto

A continuación veremos unos ejemplos de variables en la tabla 1.

Q_UPDOWN	Dirección de la información (1-Vía->Tren)
M_VERSION	Versión del Lenguaje ERTMS/ETCS
Q_MEDIA	Tipo de medio de transmisión (0-Baliza)
N_PIG	Posición de la baliza dentro del grupo de balizas
N_TOTAL	Número total de balizas en el grupo
M_DUP	Indica cuando la información de la baliza es duplicada
M_MCOUNT	Contador de telegramas. Detección de cambios.
NID_C	Identificador de la región
NID_BG	Identificador del grupo de balizas
Q_LINK	Indica cuando el grupo está enlazado (1) o no (0)

Tabla 1. Ejemplo de variables dentro de los paquetes [2]

Paquetes

Un paquete es un conjunto de varias variables agrupadas en una única unidad y con una estructura definida que envía una información específica al tren.

Telegramas

Un telegrama es la información transmitida al tren compuesta por uno o más paquetes. Esta información es más amplia y se le informa al tren de uno o varios estados de la vía. Está compuesto por una cabecera y una serie de paquetes. Un telegrama termina con el paquete 255 “Fin de Información” .

3.7.1 Enlazado (Linking)

Las balizas están relacionadas entre sí según unas reglas. Esta información se transmite mediante el paquete 5 (tabla 2). Ese paquete transmite a la eurocabinas por qué grupo de balizas tiene que ir pasando en su recorrido en un tiempo dado. Es una forma de supervisar que el tren está recorriendo el itinerario correcto.

Variables Paquete 5. Enlazado	
Q_DIR	Indica el sentido de marcha para el que la información es válida
L_PACKET	Número de bits en el paquete
Q_SCALE	Parámetro que indica la escala para las distancias
D_LINK	
Q_LINKORIENTATION	Nos indica en que sentido está la baliza enlazada 1=Nominal 0=Reverse
Q_LINKREACTION	Nos dice cómo actúa el tren si tuviese problemas con el enlazado de balizas. 00 = Train Trip, 01= Freno de Servicio, 10 = Sin reacción

Tabla 2. Paquete 5 (Enlazado) [2]

3.7.2 Autorización de Movimiento (Movement Authority, MA)

Autorización de movimiento al tren hasta un punto determinado. Por medio del paquete 12 se le transmite al equipo de a bordo con las variables que se observan en la tabla 2. Se puede dividir en secciones. El enclavamiento reserva, ocupa y libera los circuitos de vía en secuencia. En la figura 30 se observa un ejemplo de Autorización de Movimiento de un tren.

Fin del MA → EOA: End of Authority

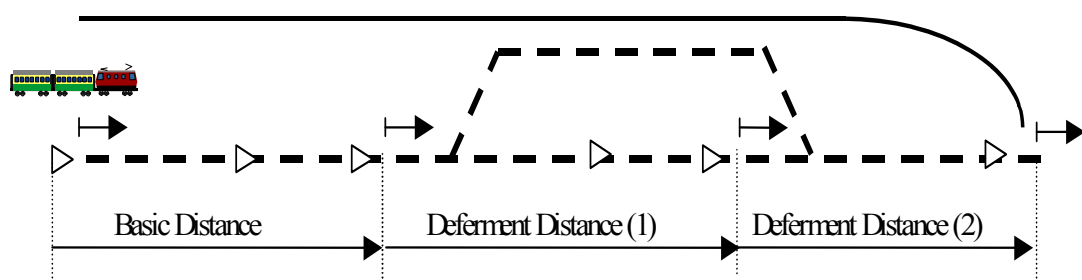


Figura 30. Ejemplo de autorización de movimiento [2]

Variables Paquete 12. Autorización de Movimiento	
Q_DIR	Indica el sentido de marcha para el que la información es válida
L_PACKET	Número de bits en el paquete
Q_SCALE	Parámetro que indica la escala para las distancias
V_MAIN	Restricción de velocidad
V_LOA	Velocidad permitida en el límite de la autorización
T_LOA	Tiempo permitido hasta final de la autorización
L_SECTION	Longitud de la Autorización de Movimiento

Tabla 3. Paquete 12 (Autorización de Movimiento) [2]

3.7.3 Gradiente

Necesario para que el equipo embarcado pueda calcular la curva de frenado del tren. En la figura 31 se contempla el valor de cada gradiente en un cierto punto, transformando estos valores en tramos fijos con el gradiente más restrictivo del tramo.

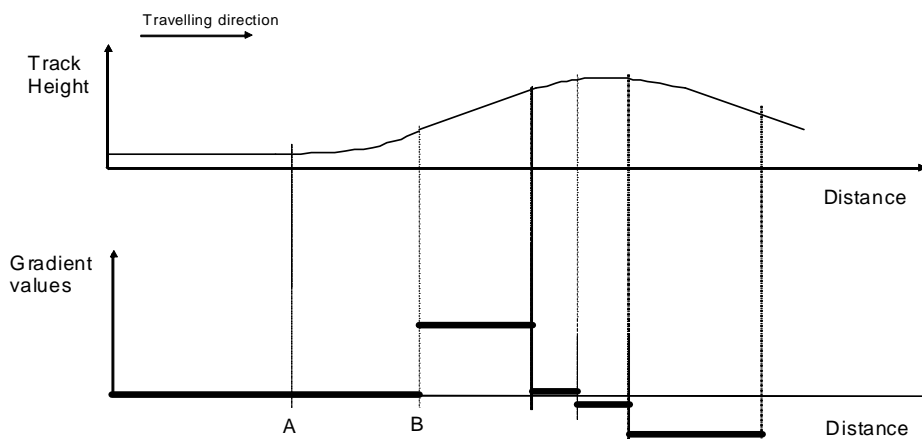


Figura 31. Esquema de gradientes por tramos [6]

Permite al tren realizar un cálculo preciso de las curvas de frenado. Para aceptar un MA y por tanto entrar en FS u OS el equipo de a bordo debe recibir el gradiente de toda la longitud del MA. Se da por tramos de pendiente constante y se puede dejar en perfil abierto o perfil cerrado. El gradiente se enviará en las balizas fijas de todos los Grupos de balizas existentes en la vía en Nivel 1 y en Nivel 2 lo dará el RBC. En la siguiente tabla 3 se representan las variables más representativas de este paquete.



Variables Paquete 21. Gradiente	
Q_DIR	Indica el sentido de marcha para el que la información es válida
L_PACKET	Número de bits en el paquete
Q_SCALE	Parámetro que indica la escala para las distancias
D_GRADIENT	Distancia del tramo de gradiente dado
Q_GDIR	Pendiente ascendente ("1") Pendiente descendente ("0")
G_A	Valor del tramo de gradiente

Tabla 4. Paquete 21 (Gradiente) [2]

3.7.4 Perfil estático de velocidad (SSP)

Se transmite por medio del paquete 27. Es un parámetro que da la velocidad máxima permitida que se puede alcanzar en la vía por tramos en función de las características de ésta (via, agujas, túneles...) Se da en los modos OS y FS, por tanto el SSP se debe conocer en todo el MA Siempre lo daremos juntos al paquete 12(MA) desde una baliza conmutable o infill. Se puede dar mediante:

- Perfil cerrado: Se fija el último tramo del SSP dado.
- Perfil abierto: Consiste en dar al último tramo del SSP una validez infinita.

Como máximo se pueden dar hasta 5 categorías del tren, teniendo en cuenta que por criterios de seguridad, siempre deberá ser el más restrictivo. El número de secciones de SSP que se dará debe abarcar la longitud total del MA. El número máximo de secciones que se pueden dar para el SSP será de cinco, si no cubre la totalidad del MA, el último tramo quedará con el valor más restrictivo del tramo restante del MA.

De todas estas limitaciones de velocidad tenemos que coger el valor más restrictivo (MRSP) como se observa en la figura 32, el valor más restrictivo es el valor mínimo de velocidad que nos valdrá de SSP para un tramo de vía.

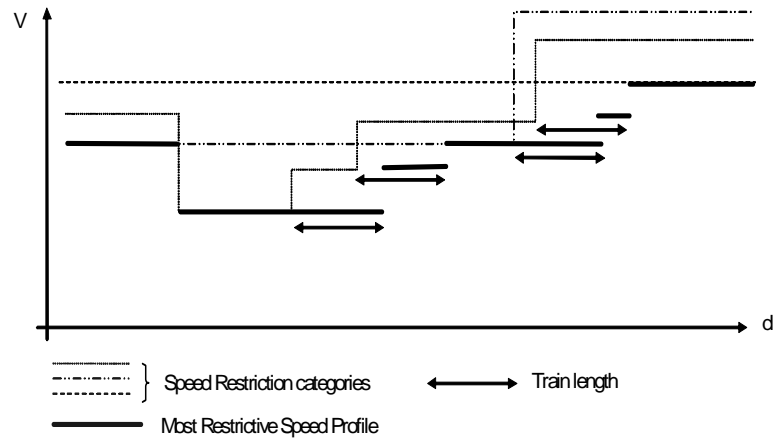


Figura 32. Tramos SSP de un tramo de línea [6]

A continuación observamos las variables más representativas de este paquete en la tabla 5.

Variables Paquete 27. Perfil Estático de Velocidad	
Q_DIR	Indica el sentido de marcha para el que la información es válida
L_PACKET	Número de bits en el paquete
Q_SCALE	Parámetro que indica la escala para las distancias
D_STATIC	Distancia del tramo de SSP dado
V_STATIC	Velocidad del tramo

Tabla 5. Paquete 27 (Perfil Estático de Velocidad) [2]

3.8 Componentes del sistema

CLC (Controlador Centralizado de LEUs) : Maneja centralizadamente los elementos de Nivel 1 recibiendo directamente desde el enclavamiento la información de los aspectos de las señales y estados de las agujas. Recibe la información desde el enclavamiento y la distribuye a las LEUs que se encargan de enviar los telegramas a las correspondientes balizas conmutables.



SAM-CLC (Sistema de Ayuda al Mantenimiento): Envía información de diagnóstico al PCE referente a los equipos de Nivel 1 y permite conocer el estado actual de los CLCs y LEUs.

SAM-R: Equipo conectado al RBC que le proporciona funciones de diagnóstico, posibilitando la grabación y visualización del estado del sistema y de los diferentes mensajes de avería

PLO (Puesto Local de Operación): Se trata de un equipo que permite al operador realizar las siguientes funciones:

- Establecimiento y cancelación de itinerarios
- Establecimiento y anulación de LTVs
- Visualización del estado de los elementos del sistema ERTMS

PCE (Puesto Control de ERTMS): Es un puesto de control centralizado de ERTMS que:

- Permite el establecimiento y cancelación de itinerarios
- Permite el establecimiento y cancelación de LTVs
- Muestra el estado de funcionamiento de los LEUs
- Muestra el estado de funcionamiento de los CLCs
- Muestra el estado de las LTVs

3.9 ERTMS en España

En la actualidad España es el primer país en kilómetros de líneas ERTMS, con un total de 1053 km, teniendo la línea de mayor longitud en el mundo dotada de ERTMS, la línea Madrid-Zaragoza-Barcelona. Actualmente sólo se encuentra en servicio ERTMS



Nivel 1, aunque ya se está trabajando en instalar Nivel 2 en líneas Madrid-Zaragoza-Barcelona y Madrid-Valladolid.

El Plan Estratégico para Infraestructura y Transportes en Infraestructuras Ferroviarias

PEIT (2005-2020):

- El presupuesto para infraestructuras ferroviarias supone el 48% del total, por encima de carreteras.

Compromiso 2012:

- España segundo país en número de kilómetros de alta velocidad en explotación, solamente por detrás de Japón.
- Más de 2.200 km en líneas de Alta Velocidad.

Compromiso 2020 (fin PEIT):

- España dispondrá de 10.000 km en líneas de alta velocidad
- Todas las capitales de provincia estarán conectadas a esta red
- El 90 por ciento de los ciudadanos se encontrarán a menos de 50 km de una estación de Alta Velocidad

La figura 33 muestra un mapa de España con las futuras líneas de Alta Velocidad proyectadas para 2020 según el Plan Estratégico para Infraestructuras y Transporte.



Figura 33. Líneas de Alta Velocidad futuras en España [15]

4 APLICACIÓN ESPECÍFICA LAV (LÍNEA ALTA VELOCIDAD) MADRID-VALLADOLID

4.1 Situación de LAV Madrid-Valladolid

El trazado comienza por el corredor de la actual línea Madrid-Burgos, paralelo a la carretera M-607 hasta llegar al término municipal de Tres Cantos. En este punto, salva una gran vaguada con el viaducto de El Salobral, y emboquilla el túnel de San Pedro, de aproximadamente 9.000m.

Este túnel finaliza en el término municipal de Soto del Real, donde el trazado toma dirección noroeste para llegar al macizo montañoso de la Sierra de Guadarrama, que se salva mediante el Túnel del mismo nombre. El trazado continúa hasta la zona Sur de la ciudad de Segovia. Desde Segovia continúa por el corredor de la carretera C-605 hasta Santa María la Real de Nieva, donde se superpone a la línea Segovia-Medina. Tras la variante de Olmedo, al Sureste de la ciudad, el trazado gira hacia el norte conectando con la línea Madrid-Hendaya (p.k. 227/000), a la altura de Valdestillas. Desde aquí la línea continúa en dirección norte hasta la ciudad de Valladolid. En la siguiente figura 34 se ve el trazado de la línea desde Madrid a Valladolid.

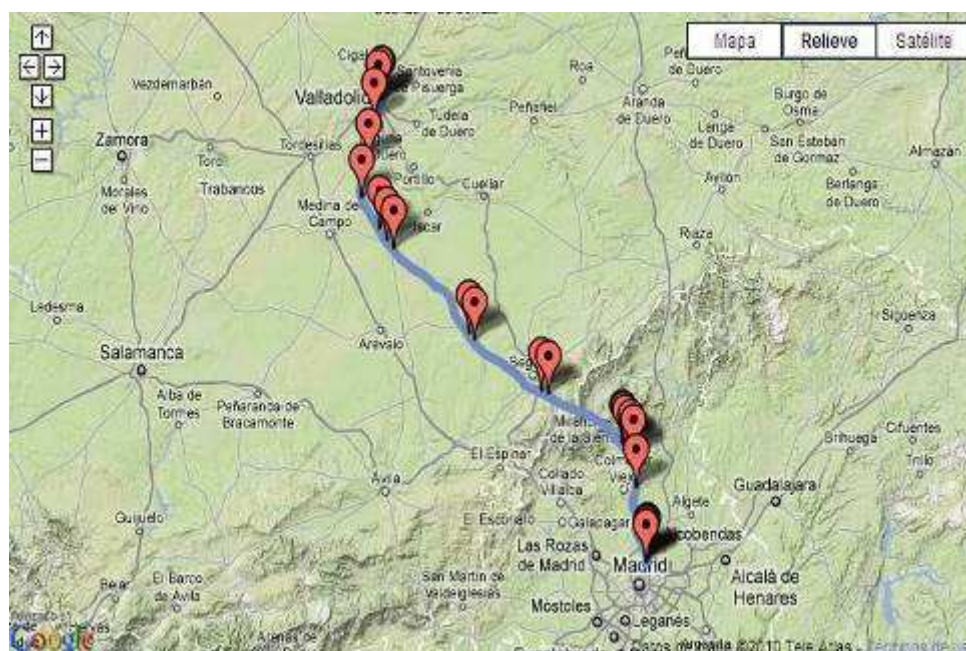


Figura 34. Situación Línea Alta Velocidad Madrid-Valladolid [15]

4.2 Características de la Línea de Alta Velocidad (LAV)

La Línea de Alta Velocidad Madrid-Segovia-Valladolid es una línea de alta velocidad que fue inaugurada el 22 de diciembre de 2007 y se abrió al servicio comercial el día siguiente, y constituye el primer tramo de los corredores norte y noroeste. Según el PEIT 2005-2020 esta línea estará conectada con las siguientes LAV: LAV Olmedo - Zamora - Galicia y ésta con el Eje Atlántico, LAV Valladolid - Burgos - Vitoria, LAV_Venta_de_Baños_-_Asturias; y con el resto de LAV que parten de Madrid gracias a la futura construcción de un túnel en ancho estándar entre Puerta de Atocha y Chamartín para enlace de las LAV.

Esta LAV está preparada para la circulación de trenes a 350 km/h, ERTMS II, desvíos a 220 km/h por vía desviada, una reducción de más de 70 km del trazado actual gracias a los túneles de San Pedro y de Guadarrama de 9 y 29 kms respectivamente. Redujo los tiempos anteriores de las 2h30 a los 56 minutos (mejor tiempo). Gracias a los cambiadores de ancho duales que se han instalado en Valdestillas y Valladolid se redujeron también los tiempos de viaje en todos los trayectos entre Madrid y el N-NO de España. En la figura 35 se contempla las condiciones de la vía.

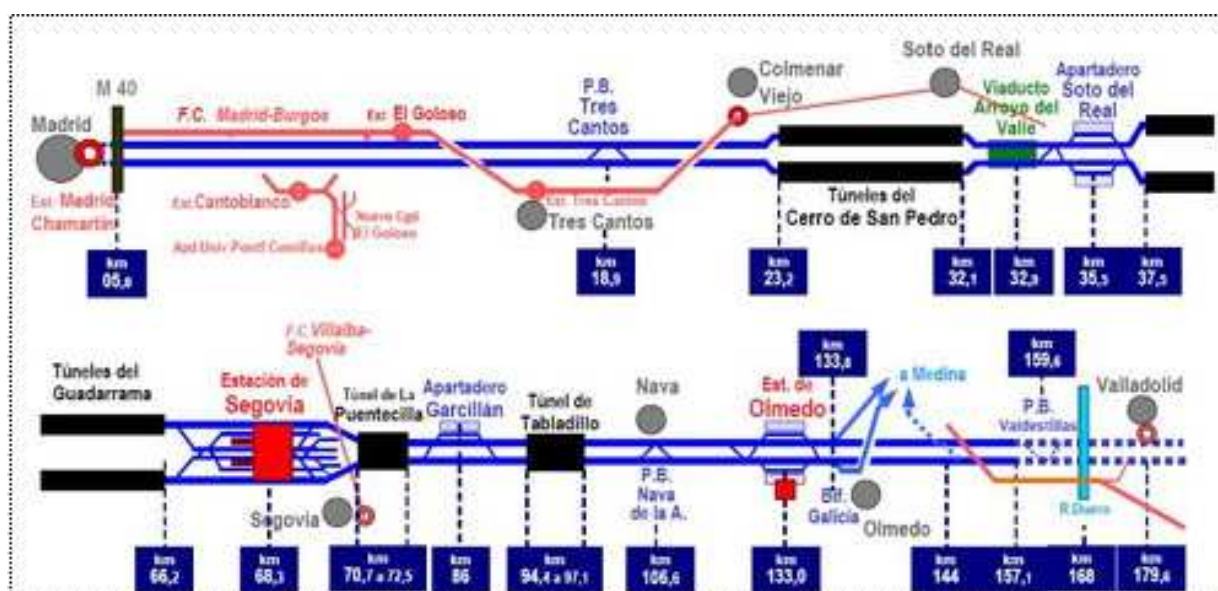


Figura 35. Condiciones técnicas de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Valladolid [17]

Datos técnicos

- Doble vía de ancho estándar, catenaria a 25 kV.
- Encargada por el Gobierno al GIF (hoy ADIF) en 1998.

- Longitud : 179,6 km (reducción del 28% respecto al trazado actual).
- Tramos en túnel : 42,1 km
- 2 estaciones intermedias: Segovia (pk 68.3) y Olmedo (pk 133)
- Velocidad máxima: 300 km/h en la actualidad en Nivel I ERTMS. Para Nivel II ERTMS la máxima velocidad será 350 km/h.
- 2 PAET (Puestos de Adelantamiento y Estacionamiento de Trenes): Soto del Real (Madrid) y Garcillán (Segovia).
- Pk 133,8: Bifurcación hacia la LAV de Galicia, con desvíos franqueables a 220 km/h por vía desviada (salto de carnero desde la vía derecha).
- Tiempo de viaje estimado Madrid-Valladolid : 56 minutos ($v_{media} = 192$ km/h)

Puestos de adelantamiento y estacionamiento de trenes (PAET): son apartaderos que permiten el rebase de trenes más lentos. Además se utilizan para necesidades técnicas en razón de mantenimiento o seguridad. En general se busca un acceso cómodo por carretera para que puedan utilizarse como instalaciones de transbordo a autobuses de los viajeros de un tren inmovilizado por avería o por interrupción de la línea.



Figura 36. Puesto de adelantamiento y estacionamiento de trenes [8]

Puesto de Banalización: En las vías banalizadas es "el conjunto de instalaciones que tiene como misión el permitir, mediante los correspondientes escapes protegidos por señales, el cambio de vía de circulación de los trenes".



Hitos Kilométricos

Hito	Lugar	Pk
Estación	Chamartín	0
Puesto de Banalización	Tres Cantos	18.9
Tuneles	San Pedro	23.2 - 32.1
Viaducto	Arroyo del Valle	32.9
PAET	Soto del Real	35.5
Tuneles	Guadarrama	37.5 - 66.2
Estación	Segovia	68.3
Tunel	Puentecilla	70.7 - 72.5
PAET	Garcillán	86.0
Tunel	Tabladilla	94.4 - 97.1
Puesto de Banalización	Nava	106.6
Estación	Olmedo	133
Bifurcación	LAV de Galicia	144
PB	Valdestillas	159.6
Estación	Valladolid	179.6

Figura 37. Hitos kilométricos de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Valladolid [16]

4.2.1 Túnel de Guadarrama

El Túnel de Guadarrama (28.400 m) es la obra de ingeniería más grande ejecutada en España, lo que nos sitúa a la cabeza de las infraestructuras mundiales: es el primer y único túnel para alta velocidad construido sin ataques intermedios, el cuarto más largo de Europa y el quinto del mundo.

El proceso constructivo se ha desarrollado desde los criterios de cumplimiento del plazo de ejecución y mínimo impacto ambiental. Las obras dieron comienzo el 28 de septiembre de 2002 y se inauguró el 5 de mayo de 2005.

El Túnel de Guadarrama unirá Madrid con las principales ciudades del norte y noreste de España. Con su puesta en funcionamiento cubre el trayecto Madrid-Segovia en 22 minutos y Madrid-Valladolid en 55 minutos. En la figura 38 se ve el equipamiento de este túnel, las montañas que atraviesa y el gradiente que tiene en cada tramo.

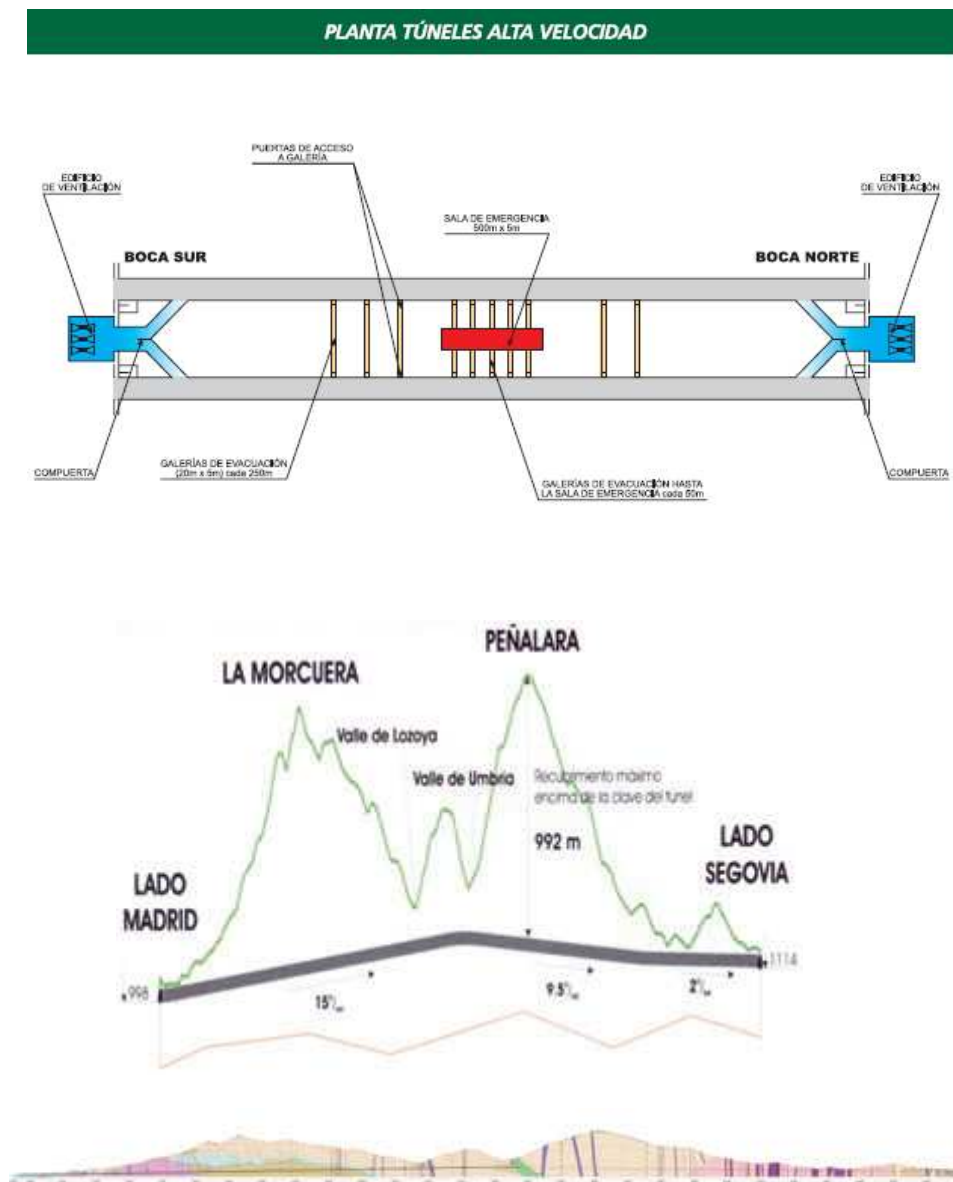


Figura 38. Túnel de Guadarrama [11]

4.2.2 Túnel de San Pedro

El objetivo de túnel es la construcción de la infraestructura del Nuevo Acceso ferroviario al Norte y Noroeste de España. Madrid – Segovia – Valladolid / Medina del Campo, en el tramo Colmenar Viejo – Soto del Real, que tiene una longitud de 9.509 m; de los cuales 8.930 m corresponden al Túnel de San Pedro. Este tramo que se puede considerar el primero de la Línea, comienza en la bifurcación de Fuencarral y continúa hacia el norte a lo largo de 37,7 km. Su trazado discurre por el corredor de la

línea Madrid-Burgos, paralelo a la autovía M-607, y después de superar Tres Cantos y Colmenar Viejo emboquilla en los túneles de San Pedro entre dos viaductos para girar en dirección noroeste en Soto del Real hacia el macizo de Guadarrama.



Figura 39. Túnel de San Pedro [11]

4.2.3 Viaducto Arroyo del Valle

Es el principal viaducto de la línea y el más largo de Europa de tablero continuo. La singularidad del viaducto reside fundamentalmente en su diseño lineal y estilizado, que favorece su integración en el entorno, en la técnica constructiva aplicada, novedosa en España y en las excepcionales medidas de respeto medioambiental desarrolladas en su construcción. Se encuentra situado en un excelente entorno paisajístico, entre Soto del Real y Miraflores de la Sierra (figura 40).



Figura 40. Viaducto Arroyo del Valle [11]

Actualmente en la línea de alta velocidad Madrid – Valladolid opera en ERTMS Nivel 1. La funcionalidad es la siguiente:

Se observa en la figura anterior que existe varios puestos de control que gestionan las diferentes partes del sistema:

- PLO-E : Puesto local de operación del enclavamiento
- PCI: Puesto Comunicaciones Intermedio
- PCE: Puesto control de ERTMS, controla todo lo referido al sistema ERTMS



- CTC: Centro de tráfico de control, suele existir uno por línea y controla de forma centralizada todo el tráfico e incidencias que surgen en la línea.

Los sistemas SAM, son aplicaciones complementarias que ayudan al mantenimiento de las instalaciones.

La línea está dividida en diez enclavamientos electrónicos: Chamartín, Tres Cantos, Soto del Real, Segovia, Garcillán, Nava de la Asunción, Olmedo, Hornillos, Valdestillas Y Valladolid. Cada enclavamiento controla sus balizas, agujas, circuitos de vía y LEU's.

4.4 EQUIPOS A INSTALAR Y PROGRAMAR EN NIVEL 2

Para la instalación de Nivel 2 en la línea hay que instalar los RBC's y definir qué enclavamientos controla cada uno. En la línea de alta velocidad Madrid-Valladolid se necesita instalar tres RBC's. En la tabla 6 se incluye la denominación de cada RBC y los enclavamientos que controla cada uno.

	DENOMINACIÓN	ENCLAVAMIENTOS
RBC 1	CHA	CHAMARTÍN
		TRES CANTOS
		SOTO DEL REAL
RBC 2	SEG1	SEGOVIA
		GARCILLÁN
		NAVA DE LA ASUNCIÓN
RBC 3	SEG2	OLMEDO
		HORNILLOS
		VALDESTILLAS
		VALLADOLID

Tabla 6. Radios Blocks Centers y Enclavamientos de LAV Madrid-Valladolid

Como se explicó en el Capítulo 3 "Tecnología ERTMS", no son necesarias balizas a lo largo de la línea para operar en Nivel II porque el RBC enviaría al equipo de a bordo los paquetes de información necesarios para su circulación en Nivel II mediante la tecnología GSM-R. Lo que sí sería necesario sería la programación de las balizas dónde establecería comunicación el equipo de a bordo con el RBC, balizas de recuperación de señal, por si existe algún problema de desconexión; de esa manera el

tren podría reestablecer comunicación con el RBC y balizas de cancelación de sesión para salir de la zona de Nivel II.

A continuación se explicará cómo se producen estas transiciones a Nivel II y cómo se programan las balizas necesarias para este cambio de Nivel.

4.4.1 Puntos de entrada y salida para Nivel 2

4.4.1.1 Entrada al área de Nivel 2

La transición a Nivel 2 se realiza siempre desde Nivel 1. En la figura 42 se muestra el esquema de transición a Nivel 2. Según la especificación de ERTMS por UNISIG no es necesario entrar a Nivel 2 desde Nivel 0, pero en España ADIF (Autoridad Ferroviaria) lo ha establecido así para todas sus líneas de Alta Velocidad. El motivo es, que cuando la baliza manda el paquete 42 de establecimiento de sesión al tren, éste puede tardar aproximadamente unos 46 segundos en comunicarse con el RBC, durante este tiempo el tren recorre muchos metros, y por seguridad se establece que esta transición se haga desde el Nivel 1, para que la distancia recorrida del tren esté supervisada desde el Nivel 1. Para ello reproduciremos a continuación un ejemplo de transición a Nivel 2, viniendo el tren desde Nivel 0 pero transitando primero a nivel 1 para a continuación transitar a Nivel 2.

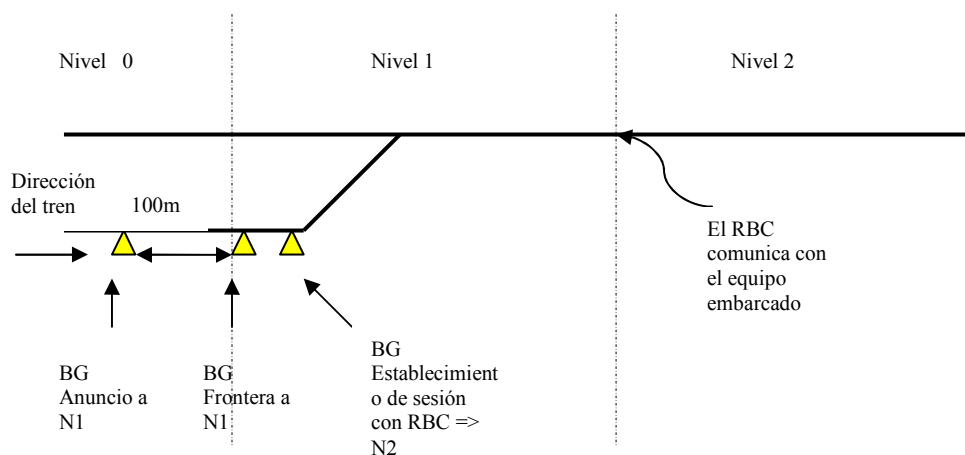


Figura 42. Transición a Nivel 2



El tren circula o inicia el movimiento desde nivel 0. El primer Grupo de Balizas que se encuentra es un BG de anuncio de transición a Nivel 1. Este Grupo de balizas contiene el paquete 41, en la tabla 7 se describen las principales variables de este paquete:

Variables Paquete 41. Orden de Transición de Nivel	
NID_PACKET	Identificador del paquete
Q_DIR	Dirección de comunicación
L_PACKET	Longitud del paquete
Q_SCALE	Escala de las distancias
D_LEVELTR	Distancia de transición
M_LEVELTR	Nivel a transitar

Tabla 7. Paquete 41 (Transición de Nivel) [2]

M_LEVELTR : Esta variable indica al nivel que va a transitar. En este caso tomaría el valor 2 que indica pasar a Nivel 1.

D_LEVELTR : En esta variable se informa de la distancia en la que el equipo embarcado debe transitar, en este caso la distancia sería de 100 m.

Q_SCALE = 1 (1=1 m)

En el Grupo de Balizas de frontera a Nivel 1, es dónde se produce instantáneamente la transición de Nivel 1, por lo tanto, se daría el mismo paquete 41, pero con un valor D_LEVELTR cambiado.

Valores:

M_LEVELTR = 2

D_LEVELTR = 32767 (Este valor quiere decir "now" ahora, en este preciso instante.

De esta manera, gracias a los Grupos de Balizas anteriores se consigue que en el momento de establecimiento de sesión con el RBC, el sistema se encuentre en Nivel 1, como establece la Autoridad Ferroviaria en España (ADIF), y durante el tiempo y la distancia de recorrido del tren, esté supervisado en este nivel.

El paquete que debe llevar este Grupo de Balizas de establecimiento de sesión es el paquete 42. En la tabla 8 se definen las variables más características de este paquete.



Variables Paquete 42. Establecimiento de Sesión	
NID_PACKET	Identificador del paquete
Q_DIR	Dirección de comunicación
L_PACKET	Longitud del paquete
Q_RBC	Identificador del RBC
NID_C	Identificador de la línea
NID_RBC	Identificador del RBC
NID_RADIO	Identifica el número de teléfono que conecta el equipo embarcado con el RBC

Tabla 8. Paquete 42 (Establecimiento de sesión) [2]

Q_RBC : Esta variable ordena el establecimiento o cancelación de sesión:

- **Q_RBC= 1** => Establece comunicación
- **Q_RBC=0** => Termina comunicación

En este caso, el valor sería 1 y establecería comunicación.

Es importante recordar que la transición a Nivel 2 la hace el RBC y no las balizas.

4.4.1.2 Salida del área de Nivel 2 a Nivel 1/ Nivel 0

La salida a Nivel 1/Nivel 0 es ordenada por baliza, no por el RBC. Se ha de colocar un grupo de balizas de frontera con la orden de transición a Nivel 1/Nivel 0 a pie de la señal de salida del área de Nivel 2. En la figura 43 se representa un ejemplo de salida de Nivel 2.

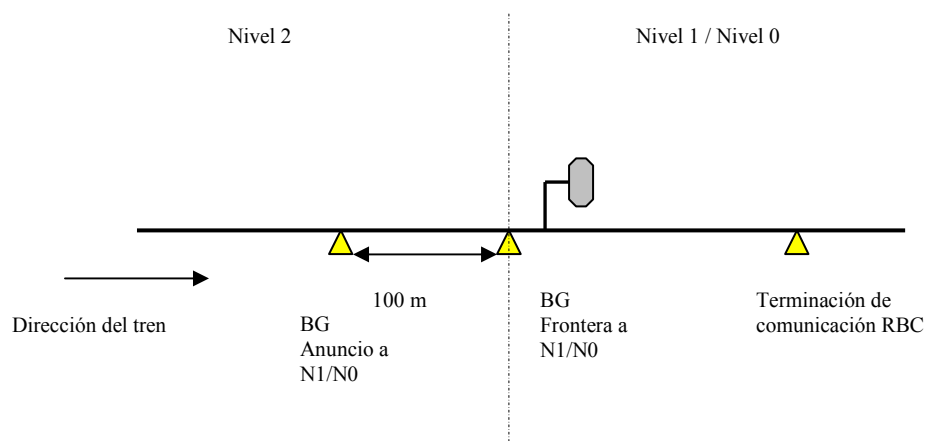


Figura 43. Salida del Nivel 2



En este caso, ADIF no establece que para salir de Nivel 2 a Nivel 0 haya que pasar por el Nivel 1. El caso de las BG de anuncio y de frontera a N1/N0 sería igual que en el punto anterior.

BG de anuncio

En este caso en concreto, la distancia de transición es de 100 m, por lo tanto, los valores de la variable en función del Nivel al que queramos transitar. Los valores serían los siguientes:

M_LEVELTR : 2 (para Nivel 1) y 0 (para Nivel 0)

D_LEVELTR : 100

BG de frontera

En el BG de frontera a Nivel 1/Nivel 0, se daría el mismo paquete 41, pero con un valor **D_LEVELTR** cambiado.

Valores:

M_LEVELTR = 2 (para Nivel 1) y 0 (para Nivel 0)

D_LEVELTR = 32767 (Este valor quiere decir “now” ahora, en este preciso instante.

La baliza de terminación de comunicación no haría falta instalarla para cambiar de nivel, ya que la transición se haría por baliza y el equipo embarcado desde ese punto solamente haría caso a las balizas de Nivel 1/Nivel 0 que son los equipos instalados en la vía. Esta baliza se instala y se programa por ahorro de comunicación via radio tren-RBC, ya que recordamos que la comunicación se produce vía GSM-R y esto produce un coste. De esta manera se le manda la información al equipo de embarcado para que ponga fin de comunicación con el RBC. El paquete a enviar sería el 42:

El paquete que debe de llevar esta baliza de establecimiento es el paquete 42, con los siguientes valores en sus variables:

Valores:

Con el valor de **Q_RBC= 0** (« Fin de comunicación »)

En muchas ocasiones, se da el caso que el mismo Grupo de balizas sirva de establecimiento y cancelación, llevando dos paquetes 42 con valores en las variables diferentes. La variable Q_DIR indica la dirección en la que el tren debe leer ese paquete (figura 44).

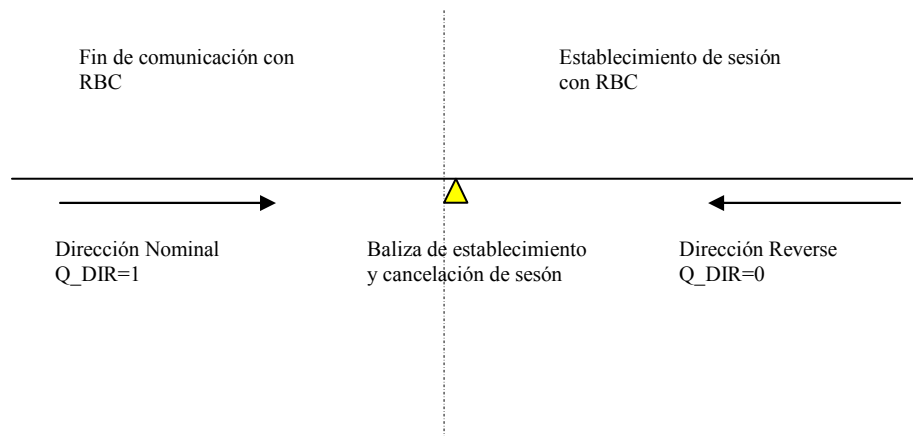


Figura 44. Ejemplo de establecimiento y cancelación de sesión en una misma baliza

Por lo tanto el BG debe contener dos paquetes 42 con la siguiente información :

Un primer paquete 42 con valores:

Q_DIR = 1 “El tren circula en dirección nominal”

Q_RBC= 1 “El tren establece comunicación con el RBC”

Un segundo paquete 42 con valores:

Q_DIR = 0 “El tren circula en dirección reverse”

Q_RBC= 0 “El tren termina comunicación con el RBC”

Por lo tanto, el tren hará caso solamente a un paquete en función de la dirección en la que circula.

Las balizas de recuperación de sesión, lleva el mismo paquete 42 con los mismos valores que las balizas de establecimiento. Se ponen a lo largo de la vía por si existiese alguna incidencia el tren pudiera ponerse en contacto de nuevo con el RBC.

En todas las balizas de establecimiento y recuperación de sesión, la Autoridad Ferroviaria establece que debe de acompañarle también el paquete 3, de valores nacionales. En este paquete se informa al tren de los valores predeterminados que existen en la línea nacional, como por ejemplo la velocidad máxima en Shunting, On Sight, Staff Responsable, o acciones de frenos en situaciones de emergencia, tiempos a cumplir en determinadas situaciones, etc...

Seguidamente veremos la instalación y programación de balizas de establecimiento, recuperación y cancelación en los enclavamientos electrónicos de la línea.

4.4.1.3 Chamartín

Grupo de Balizas de establecimiento y cancelación de sesión

El grupo de balizas a instalar y programar sería la 8120. El grupo consta de dos balizas, 9120.0 y 9120.1. Vemos que la baliza se instala justo antes de entrar al cambiador dual. Esta zona no esta equipada con Nivel 2, por lo que es necesario instalar una baliza de establecimiento de sesión justo después del cambiador para entrar a Nivel 2. El sentido de las balizas es muy importante, para definir bien con la variable Q_DIR en que dirección tienen que leer la baliza. En la figura 45 se observa la colocación exacta de la baliza 8120 en la estación de Chamartín. A continuación, en la tabla 9, se detallan los datos de este grupo de balizas.

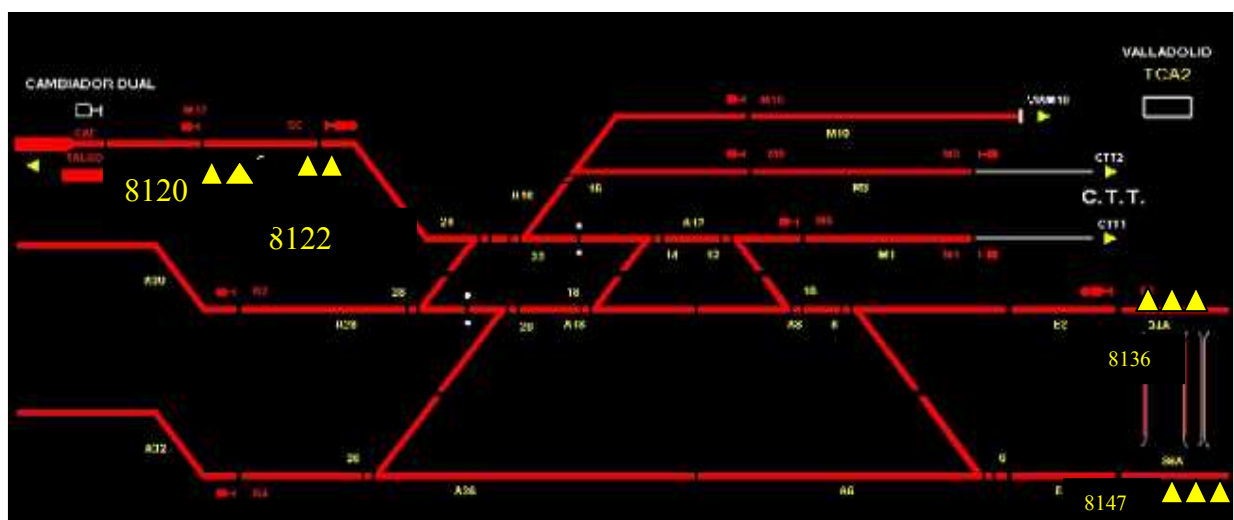


Figura 45. Tira de vía en Chamartín [8]



DEPENDENCIA	NID_BG.	PK BALIZA	SENTIDO	TIPO
Chamartín	8120.0	1,766	Madrid	Conmutable
Chamartín	8120.1	1,762	Madrid	Fija

Tabla 9. Baliza de establecimiento y cancelación en Chamartín

Para establecer sesión con el RBC y transitar a Nivel 2, la baliza fija debe de contener los siguientes paquetes con esta información.

“La información de los valores que se darán a continuación en los siguientes paquetes, será solamente la información relevante en cada caso”

Primer paquete 42 en baliza 8120.1:

Q_DIR = 0	"Dirección Reverse"
Q_RBC = 1	"Establecimiento de comunicación"
NID_C = 357	"Identificador de la línea"
NID_RBC = 1008	"Identificador del RBC de Chamartín"

Segundo paquete 42 en baliza 8120.1:

Q_DIR = 1	"Dirección Nominal"
Q_RBC = 0	"Terminación de comunicación"
NID_C = 357	"Identificador de la línea"
NID_RBC = 1008	"Identificador del RBC de Chamartín"

Grupo de balizas de recuperación de sesión bidireccional

El grupo de balizas a instalar y programar sería la 8140, 8151, 8205 y 8204. Estas balizas al ser de recuperación de comunicación se establece a lo largo de la línea equipada toda ella en Nivel 2, al poder leerse tanto en un sentido como en otro, la variable Q_DIR toma el valor de “2”. En la tabla 10 se describen las características de los grupos de balizas instalados.



DEPENDENCIA	NID_BG.	PK BALIZA	SENTIDO
Chamartín	8140.0	3,470	Valladolid
Chamartín	8140.1	3,475	Valladolid
Chamartín	8151.0	3,470	Valladolid
Chamartín	8151.1	3,475	Valladolid
Chamartín	8205.0	6,469	Valladolid
Chamartín	8205.1	6,474	Valladolid
Chamartín	8204.0	6,470	Valladolid
Chamartín	8204.1	6,475	Valladolid

Tabla 10. Grupo de balizas de recuperación de sesión bidireccional en Chamartín

Primer paquete 42 en baliza 8140.1, 8151.1, 8205.1 y 8204.1 :

Q_DIR = 2 "Ambas direcciones Nominal y Reverse"
Q_RBC = 1 "Establecimiento de comunicación"
NID_C = 357 "Identificador de la línea"
NID_RBC = 1008 "Identificador del RBC de Chamartín"

Grupo de balizas de transición a Nivel 0

A continuación se puede ver donde se instalan las balizas de anuncio y frontera para transitar a Nivel 0 en la salida de la zona equipada con Nivel 2. En la figura 45 viene representadas la colocación de estas balizas en la tira de vía.

Grupo de balizas de anuncio a Nivel 0

Estas balizas te anuncian que se va a transitar a Nivel 0. Los Grupos de balizas que se programan son 8147 y 8136. En la tabla 11 se describen las características de estos grupos de balizas.

DEPENDENCIA	NID_BG.	PK BALIZA	TIPO	SENTIDO
Chamartín	8136.0	1,967	Conmutable	Madrid
Chamartín	8136.1	1,961	Conmutable	Madrid
Chamartín	8136.2	1,956	Fija	Madrid
Chamartin	8147.0	1,967	Conmutable	Madrid
Chamartin	8147.1	1,961	Conmutable	Madrid
Chamartin	8147.2	1,956	Fija	Madrid

Tabla 11. Grupo de balizas de anuncio a Nivel 0 en Chamartín



A continuación se ve como los paquetes se dan en la baliza conmutable. Esto es porque sólo se debe de dar para rutas que pasando por estos Grupos de Balizas lleven dirección al cambiador dual. Esto lo procesa el LEU, recibiendo la información del enclavamiento. Cuando el LEU le llega un itinerario en dirección al cambiador debe de elegir los paquetes necesarios para que el equipo embarcado pueda transitar de nivel. Por lo tanto, la programación sería en las siguientes balizas.

Paquete 41 en la baliza 8136.0 y 8147.0. Este paquete dará el anuncio de transición de Nivel con lo siguientes valores.

Q_DIR = 1 “Dirección Nominal”
D_LEVELTR = 467 “Distancia en metros hasta la transición”
M_LEVELTR = 0 “Transición a Nivel 0”

Grupo de balizas de frontera Nivel 0

Estas balizas son el punto exacto donde el equipo embarcado transita a Nivel 0. El Grupo de baliza es el 8122.

DEPENDENCIA	NID_BG.	PK BALIZA	TIPO	SENTIDO
Chamartín	8122.0	1,532	Conmutable	Valladolid
Chamartín	8122.1	1,537	Fija	Valladolid

Tabla 12. Grupo de balizas de frontera Nivel 0 en Chamartín

Lleva el mismo paquete 41 que la baliza de anuncio pero con la variable de distancia de transición cambiada.

Paquete 41 en la baliza 8122.0. Este paquete dará el punto exacto de transición A Nivel 0 con los siguientes valores:

Q_DIR = 1 “Dirección Nominal”
D_LEVELTR = 467 “Distancia en metros hasta la transición”
M_LEVELTR = 0 “Transición a Nivel 0”



4.4.1.4 Tres Cantos

Grupo de balizas de recuperación de sesión bidireccional

El grupo de balizas a instalar y programar sería la 9506, 9507, 9525 y 9526, en la tabla 13 se describe sus características. Estas balizas se ponen a lo largo de la línea para corregir los errores de odometría. Se observa que en cada línea ponemos en la dependencia de Tres Cantos dos balizas de recuperación de sesión bidireccional por si se perdiera la comunicación con el RBC.

DEPENDENCIA	NID_BG.	PK BALIZA	SENTIDO
TRES CANTOS	9506.0	15,349	Valladolid
TRES CANTOS	9506.1	15,354	Valladolid
TRES CANTOS	9507.0	15,349	Valladolid
TRES CANTOS	9507.1	15,354	Valladolid
TRES CANTOS	9525.0	23,335	Madrid
TRES CANTOS	9525.1	23,129	Madrid
TRES CANTOS	9525.2	23,124	Madrid
TRES CANTOS	9526.0	23,135	Madrid
TRES CANTOS	9526.1	23,129	Madrid
TRES CANTOS	9526.2	23,124	Madrid

Tabla 13. Grupo de balizas de recuperación de sesión bidireccional en Tres Cantos

Paquete 42 en baliza 9506.0, 9507.0, 9525.0 y 9526.0 :

Q_DIR = 2 "Ambas direcciones Nominal y Reverse"
Q_RBC = 1 "Establecimiento de comunicación"
NID_C = 357 "Identificador de la línea"
NID_RBC = 1008 "Identificador del RBC de Chamartín"

4.4.1.5 Soto del Real

Grupo de balizas de recuperación de sesión bidireccional

El grupo de balizas a instalar y programar sería la 9406, 9407, 9445, 9446, 9471, 9472, 9489 y 9490. En la tabla 14 se describen las características de estos grupos de balizas.



DEPENDENCIA	NID_BG.	PK BALIZA	SENTIDO
SOTO DEL REAL	9606.0	32,140	Valladolid
SOTO DEL REAL	9607.0	32,160	Valladolid
SEGOVIA	9645.0	39,419	Madrid
SEGOVIA	9645.1	39,413	Madrid
SEGOVIA	9646.0	39,415	Madrid
SEGOVIA	9646.1	39,409	Madrid
SEGOVIA	9671.0	49,418	Madrid
SEGOVIA	9672.0	49,414	Madrid
SEGOVIA	9689.0	54,949	Madrid
SEGOVIA	9690.0	54,938	Madrid

Tabla 14. Grupo de balizas de recuperación de sesión bidireccional en Soto del Real

Paquete 42 en baliza 9606.0, 9607.0, 9645.0, 9646.0, 9671.0, 9672.0, 9689.0 y 9690.0
:

Q_DIR = 2 "Ambas direcciones Nominal y Reverse"
Q_RBC = 1 "Establecimiento de comunicación"
NID_C = 357 "Identificador de la línea"
NID_RBC = 1008 "Identificador del RBC de Chamartín"

4.4.1.6 Segovia

Grupos de balizas de recuperación de sesión bidireccional

El Grupo de balizas a instalar y programar sería la 2062 y 2063.

DEPENDENCIA	NID_BG.	PK BALIZA	SENTIDO
Segovia	2062.0	72,112	Madrid
Segovia	2063.0	72,112	Madrid

Tabla 15. Grupos de balizas de recuperación de sesión bidireccional en Segovia



Paquete 42 en baliza 2062.0 y 2063.0

Q_DIR = 2 "Ambas direcciones Nominal y Reverse"
Q_RBC = 1 "Establecimiento de comunicación"
NID_C = 357 "Identificador de la línea"
NID_RBC = 1006 "Identificador del RBC de Segovia 1"

4.4.1.7 Garcillán

Grupo de balizas de recuperación de sesión bidireccional

El Grupo de balizas a instalar y programar sería el 1208, 1209, 1302, 1303, 1333 y 1340. En la tabla 16 se detallan estos grupos de balizas.

DEPENDENCIA	NID_BG.	PK BALIZA	SENTIDO
Valverde	1208.0	76,089	Valladolid
Valverde	1209.0	76,089	Valladolid
Garcillán	1302.0	81,775	Madrid
Garcillán	1302.1	81,769	Madrid
Garcillán	1303.0	81,775	Valladolid
Garcillán	1303.1	81,769	Valladolid
Garcillán	1333.0	91,594	Madrid
Garcillán	1340.0	91,594	Madrid

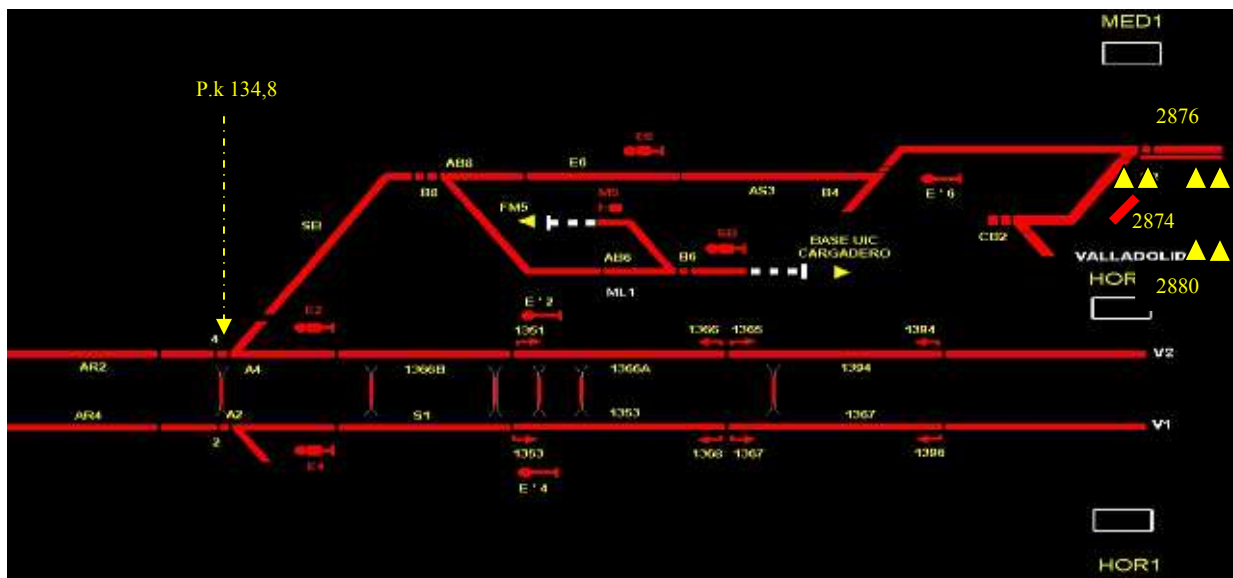
Tabla 16. Grupo de balizas de recuperación de sesión bidireccional en Garcillán

Paquete 42 en baliza 1208.0, 1209.0, 1302.0, 1303.0, 1333.0 y 1340.0

Q_DIR = 2 "Ambas direcciones Nominal y Reverse"
Q_RBC = 1 "Establecimiento de comunicación"
NID_C = 357 "Identificador de la línea"
NID_RBC = 1006 "Identificador del RBC de Segovia 1"

4.4.1.8 Olmedo

El grupo de balizas a instalar y programar sería la 2880. El grupo consta de dos balizas, 2880.0 y 2880.1. Vemos que la baliza se instala en la vía dirección Medina del Campo. A partir de esa baliza no existe equipamiento de Nivel 2, por lo que es necesario programar dicha baliza para establecimiento y cancelación de sesión en las dos direcciones. Vemos que el Pk sólo es de 5,154. Este Pk empieza desde que se bifurca la vía 2, en este punto el Pk es 134,800. En la figura 46 se colocan los grupos de balizas que explicamos a continuación.





NID_RBC = 1007 "Identificador del RBC de Segovia 2"

Primer paquete 42 en baliza 2880.0

Q_DIR = 0 "Dirección Reverse"

Q_RBC = 0 "Terminación de comunicación"

NID_C = 357 "Identificador de la línea"

NID_RBC = 1007 "Identificador del RBC de Segovia 2"

Grupo de balizas de recuperación de sesión bidireccional

El Grupo de balizas a instalar y programar sería el 2842 y 2843.

DEPENDENCIA	NID_BG.	PK BALIZA	SENTIDO
Olmedo	2842.0	137,035	Madrid
Olmedo	2843.0	137,035	Madrid

Tabla 17. Grupo de balizas de recuperación de sesión bidireccional en Olmedo

Paquete 42 en balizas 2842.0 y 2843.0

Q_DIR = 2 "Ambas direcciones Nominal y Reverse"

Q_RBC = 1 "Establecimiento de comunicación"

NID_C = 357 "Identificador de la línea"

NID_RBC = 1007 "Identificador del RBC de Segovia 2"

Grupo de balizas de transición a Nivel 0

En la figura 46 se observa donde se instalan las balizas de anuncio y frontera para transitar a Nivel 0 en la salida de la zona equipada con Nivel 2.

Grupo de balizas de anuncio a Nivel 0

Estas balizas anuncian que se va a transitar a Nivel 0. El Grupo de baliza que se programa es el 2874. En la tabla 18 se describe sus características



DEPENDENCIA	NID_BG.	PK BALIZA	TIPO	SENTIDO
Olmedo	2874.0	3,693	Conmutable	Valladolid
Olmedo	2874.1	3,695	Fija	Valladolid

Tabla 18. Grupo de balizas de anuncio a Nivel 0 en Olmedo

A continuación se observa como los paquetes se dan en la baliza fija. Esto se debe a que no existe la posibilidad de realizar otra ruta, que lleve a una zona de Nivel 2. Observamos que si pasamos por encima de estas balizas el objetivo es Medina, zona en la que no está equipada con Nivel 2.

Paquete 41 en la baliza 2874.1. Este paquete dará el anuncio de transición a Nivel 0 con los siguientes valores:

Q_DIR = 1 “Dirección Nominal”
D_LEVELTR = 481 “Distancia en metros hasta la transición”
M_LEVELTR = 0 “Transición a Nivel 0”

Grupo de balizas de frontera Nivel 0

Estas balizas son el punto exacto donde el equipo embarcado transita a Nivel 0. El Grupo de baliza es el 2876.

DEPENDENCIA	NID_BG.	PK BALIZA	TIPO	SENTIDO
Olmedo	2876.0	4,122	Fija	Valladolid
Olmedo	2876.1	4,127	Fija	Valladolid

Tabla 19. Grupo de balizas de frontera Nivel 0 en Olmedo

Paquete 41 en la baliza 2876.1. Este paquete dará el punto exacto de transición a Nivel 0 con los siguientes valores:

Q_DIR = 1 “Dirección Nominal”
D_LEVELTR = 32767 “Distancia en metros hasta la transición, este valor se da para cuando la transición es inmediata”
M_LEVELTR = 0 “Transición a Nivel 0”



4.4.1.9 Hornillos

Grupo de balizas de recuperación de sesión bidireccional

El Grupo de balizas a instalar y programar sería el 2906, 2907, 2926, 2929, 3006 y 3007.

DEPENDENCIA	NID_BG.	PK BALIZA	SENTIDO
Hornillos	2906.0	142,312	Valladolid
Hornillos	2907.0	142,300	Valladolid
Hornillos	2926.0	148,700	Madrid
Hornillos	2926.1	148,760	Madrid
Hornillos	2929.0	148,700	Madrid
Hornillos	2929.1	148,7,60	Madrid
Valdestillas	3006.0	154,200	Madrid
Valdestillas	3007.0	154,200	Madrid

Tabla 20. Grupo de balizas de recuperación de sesión bidireccional en Hornillos

Paquete 42 en balizas 2906.0, 2907.0, 2926.0, 2929.0, 3006.0 y 3007.0

Q_DIR = 2	"Ambas direcciones Nominal y Reverse"
Q_RBC = 1	"Establecimiento de comunicación"
NID_C = 357	"Identificador de la línea"
NID_RBC = 1007	"Identificador del RBC de Segovia 2"

4.4.1.10 Valdestillas

Grupo de balizas de recuperación de sesión unidireccional

El grupo de balizas a instalar y programar sería la 3118 y 3135, en la tabla 21 se describe las características de estos grupos de balizas. En este caso solamente la recuperación es hacia un sentido, en dirección Madrid. Esto se debe a que el siguiente enclavamiento es Valladolid, el cual no está equipado de Nivel 2, En Valladolid, veremos como contiene una baliza de establecimiento y cancelación nada más entrar desde Valdestillas, para continuar en Nivel 0, supervisado únicamente por ASFA.



Veremos a continuación, que los paquetes 42 de establecimiento de sesión solo serán válidos para dirección Madrid.

DEPENDENCIA	NID_BG.	PK BALIZA	SENTIDO
VALDESTILLAS	3118.0	163,470	Madrid
VALDESTILLAS	3118.1	163,464	Madrid
VALDESTILLAS	3135.0	163,370	Madrid
VALDESTILLAS	3135.1	163,464	Madrid

Tabla 21. Grupo de balizas de recuperación de sesión unidireccional en Valdestillas

Paquete 42 en balizas 3118.0 y 3135.0.

Q_DIR = 1	"Dirección Nominal"
Q_RBC = 1	"Establecimiento de comunicación"
NID_C = 357	"Identificador de la línea"
NID_RBC = 1007	"Identificador del RBC de Segovia 2"

Grupo de balizas de transición a Nivel 0

El enclavamiento de Valladolid no dispone de Nivel 2, por lo que nada más entrar al enclavamiento nos encontraremos una baliza de fin de sesión y de establecimiento de comunicación en el sentido contrario. Valladolid está equipado con ASFA, en ERTMS Nivel 0, por lo que a la salida de Valdestillas tenemos que instalar balizas de transición a este Nivel. En la figura 47 se ve representadas estos grupos de balizas de transición a Nivel 0.

Grupo de balizas de anuncio a Nivel 0

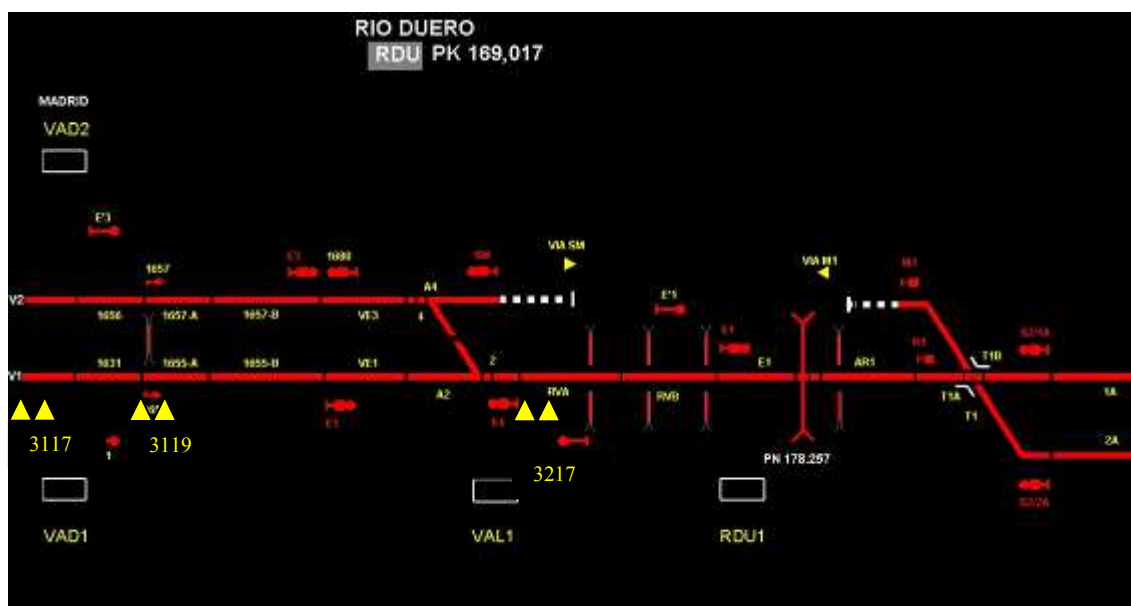


Figura 47. Tira de vías de Valladolid [8]

Esta baliza te anuncia que se va a transitar a Nivel 0. El Grupo de baliza que se programa son 2117 (tabla 22).

DEPENDENCIA	NID_BG.	PK BALIZA	TIPO	SENTIDO
VALDESTILLAS	3117.0	160,212	Conmutable	Madrid
VALDESTILLAS	3117.1	160,207	Fija	Madrid

Tabla 22. Grupo de balizas de anuncio a Nivel 0 en Valdestillas

A continuación se ve como los paquetes se dan en la baliza fija. Esto se debe a que no existe la posibilidad de realizar otra ruta, que lleve a una zona de Nivel 2. Se observa que si pasamos por encima de estas balizas el objetivo es Valladolid, zona en la que no está equipada con Nivel 2.

Paquete 41 en la baliza 3117.2. Este paquete dará el anuncio de transición a Nivel 0 con los siguientes valores:

Q_DIR = 1	“Dirección Nominal”
D_LEVELTR = 393	“Distancia en metros hasta la transición”
M_LEVELTR = 0	“Transición a Nivel 0”



Grupo de balizas de frontera Nivel 0

Estas balizas son el punto exacto donde el equipo embarcado transita a Nivel 0. El Grupo de baliza es el 3119, a continuación en la tabla 23 se describe las características de este grupo de baliza.

DEPENDENCIA	NID_BG.	PK BALIZA	TIPO	SENTIDO
VALDESTILLAS	3119.0	160,605	Conmutable	Madrid
VALDESTILLAS	3119.1	160,699	Fija	Madrid

Tabla 23. Grupo de balizas de frontera Nivel 0 en Valdestillas

Paquete 41 en la baliza 3119.0. Este paquete dará el punto exacto de transición a Nivel 0 con los siguientes valores:

Q_DIR = 0	"Dirección Reverse"
D_LEVELTR = 32767	"Distancia en metros hasta la transición, este valor se da para cuando la transición es inmediata"
M_LEVELTR = 0	"Transición a Nivel 0"

4.4.1.11 Valladolid

Grupo de Balizas de establecimiento y cancelación de sesión

El Grupo de baliza a instalar y programar sería la 3217. En la figura 47 se puede observar la colocación de este grupo de baliza en la línea.

DEPENDENCIA	NID_BG.	PK BALIZA	TIPO	SENTIDO
Valladolid	3217.0	172,086	Fija	Madrid
Valladolid	3217.1	172,080	Fija	Madrid

Tabla 24. Grupo de Balizas de establecimiento y cancelación de sesión en Valladolid

Primer paquete 42 en baliza 3217.0:

Q_DIR = 1	"Dirección Nominal"
Q_RBC = 1	"Establecimiento de comunicación"
NID_C = 357	"Identificador de la línea"
NID_RBC = 1007	"Identificador del RBC de Segovia 2"

Segundo paquete 42 en baliza 2217.1:

Q_DIR = 0	"Dirección Reverse"
Q_RBC = 0	"Terminación de comunicación"
NID_C = 357	"Identificador de la línea"
NID_RBC = 1007	"Identificador del RBC de Segovia 2"

4.4.2 Transición entre RBCs

A lo largo de la línea, existen 3 RBCs definidos anteriormente como:

RBC 1 => RBC CHA (Chamartín, Tres Cantos y Soto del Real)

RBC 2 => RBC SEG 1 (Segovia, Garcillán y Nava de la Asunción)

RBC 3 => RBC SEG 2 (Olmedo, Hornillos, Valdestillas y Valladolid)

En la figura 48 se explica gráficamente la transición de RBCs. Antes de entrar en el proceso de transferencia de un tren, se describe la situación de la línea en la zona de la frontera entre dos RBCs. Por simplicidad, sólo se representa la transferencia del tren en un sentido. La instalación real de esta zona tiene los elementos de vía para la transferencia en el otro sentido, pudiendo estar localizada la frontera para el otro sentido en la misma posición que esta o desplazada con respecto a esta.

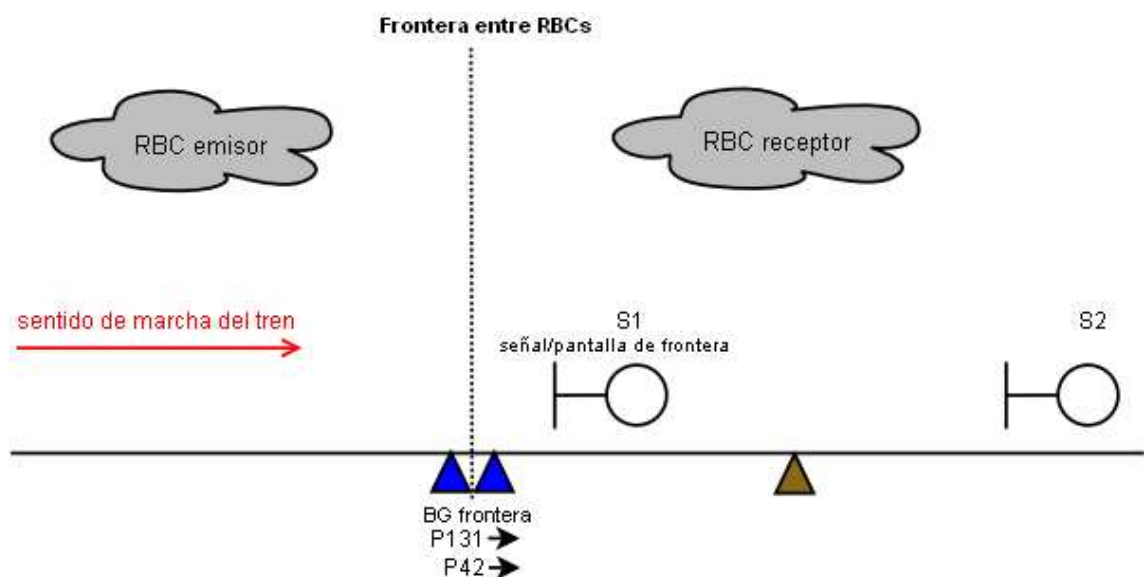


Figura 48. Esquema de transición de RBCs [3]



Señal de frontera: Es la señal (virtual o luminosa) que protege la primera ruta en el área del RBC receptor. Está controlada por un enclavamiento conectado al RBC receptor.

El RBC emisor no conoce los aspectos de la señal de frontera; únicamente conoce la posición de su fin de Autorización de Movimiento (MA)

El RBC receptor conoce la posición y los aspectos de la señal de frontera.

Grupo de balizas de frontera: Debe ser conocido por el RBC emisor y receptor. Además, su posición se toma como frontera entre RBCs.

El telegrama del grupo de balizas incluye al menos:

- Una orden de transición inmediata al RBC receptor (paquete 131). En la tabla 25 se detallan las variables de este paquete.

Una orden de establecer comunicación con el RBC receptor (paquete 42). Este paquete ya lo hemos explicado en el punto anterior. Manda la información al tren para que establezca comunicación con el siguiente RBC.

Variables Paquete 131. Orden de Transición de RBC	
NID_PACKET	Identificador del paquete
Q_DIR	Dirección de comunicación
L_PACKET	Longitud del paquete
Q_SCALE	Escala de las distancias
D_RBCTR	Distancia de transición RBC
NID_C	Identificador de la línea
NID_RBC	Identificador del RBC
NID_RADIO	Identificador del número de teléfono

Tabla 25. Paquete 131 (Orden de transición de RBC) [2]

Pasado el grupo de balizas de borde y antes de la siguiente señal o pantalla en el sentido de la transferencia (S2 en la figura anterior) debe haber al menos otro grupo de balizas, como se representa en la figura. En caso de fallo en la lectura de las



balizas de borde, este grupo de balizas posibilita a los RBCs posicionar al tren en el área del RBC receptor y finalizar el handover, así como permitir al RBC receptor reaccionar ante una parada de emergencia. Este grupo de balizas suele ser el de borde de NRBC para la dirección opuesta.

Posición de transición anunciada por el RBC emisor: el RBC emisor ordena al tren la transición de RBC en la posición del grupo de balizas siguiente al grupo de balizas de frontera. Con esto se pretende que el tren no cambie de RBC supervisor antes de llegar a la frontera, por ejemplo, por un error de odometría, y por tanto que el tren no empiece a considerar como supervisor al RBC receptor antes de que los RBCs se hayan transferido la supervisión entre ellos. Dado que la posición de transición ordenada por el RBC emisor está pasada la frontera, en condiciones normales el tren procesará la orden de transición inmediata de la baliza de frontera por encontrarse antes que la anunciada por radio.

En caso de pérdida del grupo de balizas de frontera de RBC, se ejecuta de todas formas la orden dada en el anuncio del RBC, por lo que no se considera necesario programar reacción de frenado en dichas balizas.

Proceso de transferencia de un tren a otro RBC

Se describe el proceso de transferencia (handover) estructurándolo en:

- Inicio de la transferencia
- Paso del tren por la frontera
- Fin de la transferencia

Por último, se describen las condiciones de cancelación del procedimiento de transferencia.

4.4.2.1 Inicio de la transferencia de un tren a otro RBC

La transferencia de un tren a un RBC colateral se inicia cuando se cumplen estas condiciones en el RBC que va a emitir el tren:

- El tren está bajo supervisión del RBC en Nivel 2/Full Supervision
- El RBC está en disposición de generar una MA y detecta entonces que la ruta a autorizar llega al menos hasta la frontera con otro RBC, incluso cuando la pantalla de frontera está cerrada, puesto que el RBC desconoce el aspecto de la pantalla de frontera.

4.4.2.2 Paso del tren por la frontera entre RBCs

Una vez el RBC emisor ha iniciado un handover para un tren, tiene lugar la transferencia del tren siguiendo esta secuencia: Para ello entre diferentes RBC's se tienen que transmitir una información, y seguidamente el equipo embarcado o OBU transmite la informe de posición para que pueda producirse la transición. En la figura 49 se detalle cronológicamente cómo se realiza esta transición.

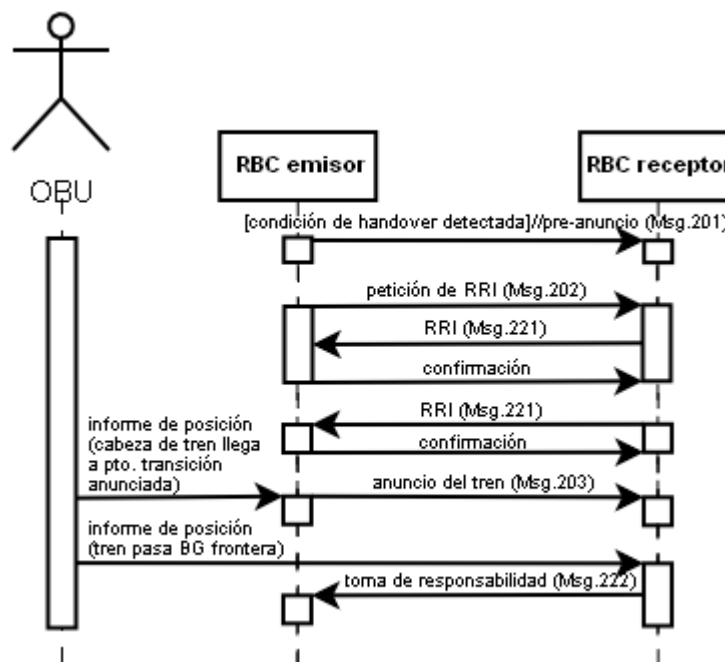


Figura 49. Proceso de transición entre RBCs. [3]

- El RBC emisor pre-anuncia el tren al RBC receptor mediante un Pre-Anuncio (mensaje 201).



- El RBC emisor pide autorización para el tren al RBC receptor mediante una petición de RRI (mensaje 202). Nota: RRI (Route Related Information) es la información del estado de la ruta más allá de la frontera entre RBCs que un RBC recibe por anticipado de su RBC colateral a cuya zona va a ser transferido el tren.
- En paralelo, el RBC emisor envía al tren una autorización de movimiento hasta la frontera entre RBCs. [durante toda la secuencia] El RBC emisor repite el envío del pre-anuncio al RBC receptor con cada petición de RRI si aún no ha recibido ningún RRI del RBC receptor.
- El RBC emisor anuncia la transición al tren mediante el paquete 131 (RBC Transition Order) tras recibir el primer RRI del RBC receptor. Dependiendo del número de móviles a bordo, el OBU iniciará en ese momento una comunicación con el RBC receptor, o bien esperará hasta que el RBC emisor ordene el término de la comunicación al llegar a la posición de la transición.

4.4.2.3 Autorizaciones de movimiento durante la transferencia

El RBC emisor es el responsable de enviar autorizaciones de movimiento al tren mientras éste esté dentro de su zona de supervisión. El contenido de una autorización de movimiento enviada al tren por el RBC emisor durante la transferencia es un ensamblado de la autorización de movimiento hasta el borde entre RBCs y el último RRI recibido del RBC colateral.

Situaciones en las que el RBC emisor envía al tren una MA mientras tiene lugar la transferencia a otro RBC:

- En respuesta a una petición de MA del tren y si hay extensión de ruta con respecto a la última MA enviada. El RBC usa para la generación de la MA el último RRI recibido, es decir, no espera a recibir uno nuevo del RBC receptor.
- Después de recibir un RRI que indica que se ha acortado la ruta en el área del RBC receptor.

Situaciones en las que el RBC receptor envía un RRI al RBC emisor:

- Tras recibir una petición de RRI del RBC emisor y si hay extensión de ruta con respecto al RRI anterior, o si el RBC emisor no confirmó el último RRI, o si hay pendiente enviar información de enlace de la ruta ya autorizada.
- Tras detectarse una situación de parada de emergencia en la ruta previamente asignada en el último RRI.
- Si el RBC receptor pierde la conexión con un ENCE para cuya área el tren que está siendo transferido desde el RBC colateral tiene autorización para entrar, envía un RRI al RBC emisor conjunto de parada anterior a la zona perturbada.

4.4.2.4 Transición RBCs frontera Soto del Real-Segovia

Esta transición entre RBCs, se produce en la frontera entre el enclavamiento de Soto del Real y Segovia. A continuación, en la captura de imagen del Puesto Local de Operador (PLO) se ven los elementos de la vía necesarios para este Handover.

4.4.2.4.1 Transición RBC CHA => RBC SEG 1

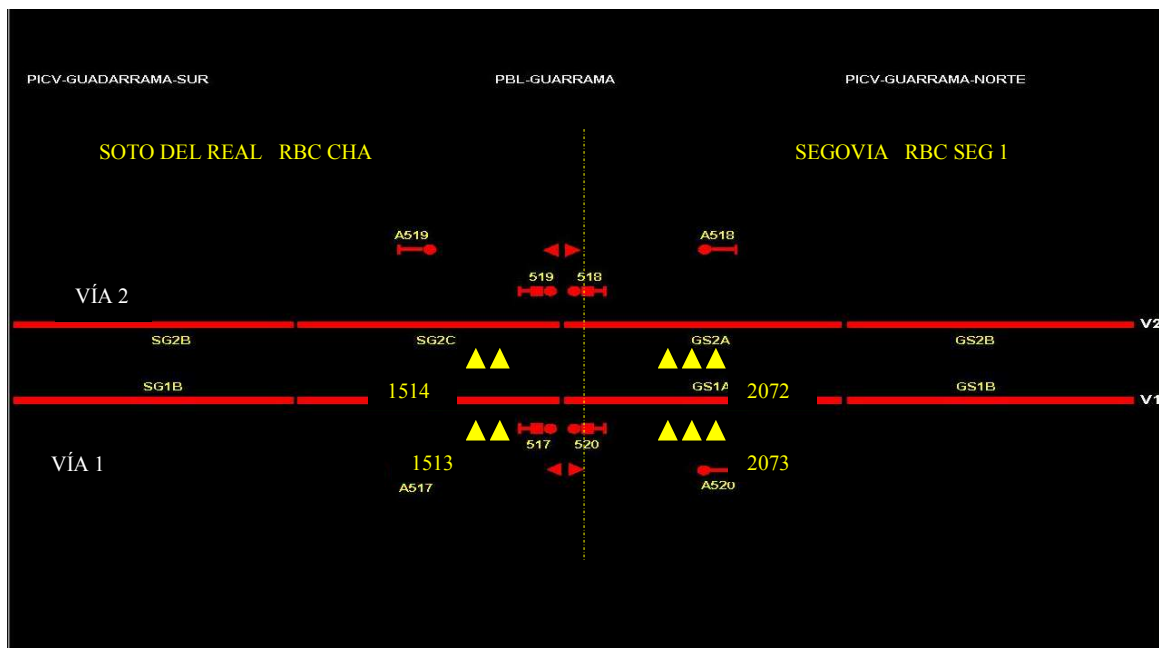


Figura 50. Tira de vía frontera Soto del Real y Segovia [8]



Estas balizas ponen en comunicación el equipo embarcado con el siguiente RBC de la línea.. Estas balizas son 1514 y 1513. En la figura 50 se observa la colocación de estos grupos de balizas.

DEPENDENCIA	NID_B G.	PK BALIZ A	VIA	TIPO	SENTIDO	ELEMENTO ASOCIADO
SOTO DEL REAL	1513.0	65,901	1	Fija	Valladolid	Señal Virtual 517
SOTO DEL REAL	1513.1	65,906	1	Fija	Valladolid	Señal Virtual 517
SOTO DEL REAL	1514.0	65,889	2	Fija	Valladolid	Señal Virtual 519
SOTO DEL REAL	1514.1	65,894	2	Fija	Valladolid	Señal Virtual 519

Tabla 26. Balizas de Transición RBC CHA => RBC SEG

Con este paquete se observa, que cuando el tren toma dirección Valladolid y pasa por las balizas 9513.0 y 9514.0 manda el paquete de establecimiento de comunicación con el RBC SEG 1 (NID_RBC=1006).

Primer paquete 42 en baliza 1513.0 y 1514.0 para la transición "RBC Chamartín"--> "RBC Segovia 1" :

Q_DIR = 1 "Dirección Nominal"
Q_RBC = 1 "Establecimiento de comunicación"
NID_C = 357 "Identificador de la línea"
NID_RBC = 1006 "Identificador del RBC de Segovia 1"

En la dirección inversa, se aprovecha esta baliza por si existiese algún problema de comunicación con el grupo de balizas de frontera de SEG 1 => CHA para enviarle un paquete 42 de establecimiento de sesión con RBC CHA (NID_RBC = 1008).

Segundo paquete 42 en baliza 1513.0 y 1514.0 para la transición "RBC Segovia 1 -> RBC Chamartin" :

Q_DIR = 0 "Dirección Reverse"
Q_RBC = 1 "Establecimiento de comunicación"
NID_C = 357 "Identificador de la línea"
NID_RBC = 1008 "Identificador del RBC de Chamartín"



Paquete 131 en baliza 1513.1 y 1514.1 para la transición “RBC Chamartín”--> “RBC Segovia 1”:

Q_DIR = 1 "Dirección Nominal"
NID_C = 357 "Identificador de la línea"
NID_RBC = 1006 "Identificador del RBC de Segovia"

4.4.2.4.2 Transición RBC SEG 1 => RBC CHA

Estas balizas ponen en comunicación el equipo embarcado con el siguiente RBC de la línea RBC CHA. El Grupo de balizas a instalar serían el 2072 y 2073.

DEPENDENCIA	NID_BG.	PK BALIZA	VIA	TIPO	SENTIDO	ELEMENTO ASOCIADO
SEGOVIA	2072.0	65,947	2	Conmutable	Valladolid	Señal Virtual 518
SEGOVIA	2072.1	65,953	2	Fija	Valladolid	Señal Virtual 518
SEGOVIA	2072.2	65,958	2	Fija	Valladolid	Señal Virtual 518
SEGOVIA	2073.0	65,947	1	Conmutable	Valladolid	Señal Virtual 520
SEGOVIA	2073.1	65,953	1	Fija	Valladolid	Señal Virtual 520
SEGOVIA	2073.2	65,958	1	Fija	Valladolid	Señal Virtual 520

Tabla 27. Balizas de Transición RBC SEG 1 => RBC CHA

Primer paquete 42 en baliza 2072.1 y 2073.1 para la transición “RBC Segovia 1”--> “Chamartin” :

Q_DIR = 0 "Dirección Reverse"
Q_RBC = 1 "Establecimiento de comunicación"
NID_C = 357 "Identificador de la línea"
NID_RBC = 1008 "Identificador del RBC de Chamartín"

Segundo paquete 42 en baliza 2072.1 y 2073.1 para la transición “RBC Chamartin” --> “RBC Segovia 1” :

Q_DIR = 1 "Dirección Reverse"
Q_RBC = 1 "Establecimiento de comunicación"
NID_C = 357 "Identificador de la línea"
NID_RBC = 1006 "Identificador del RBC de Segovia"

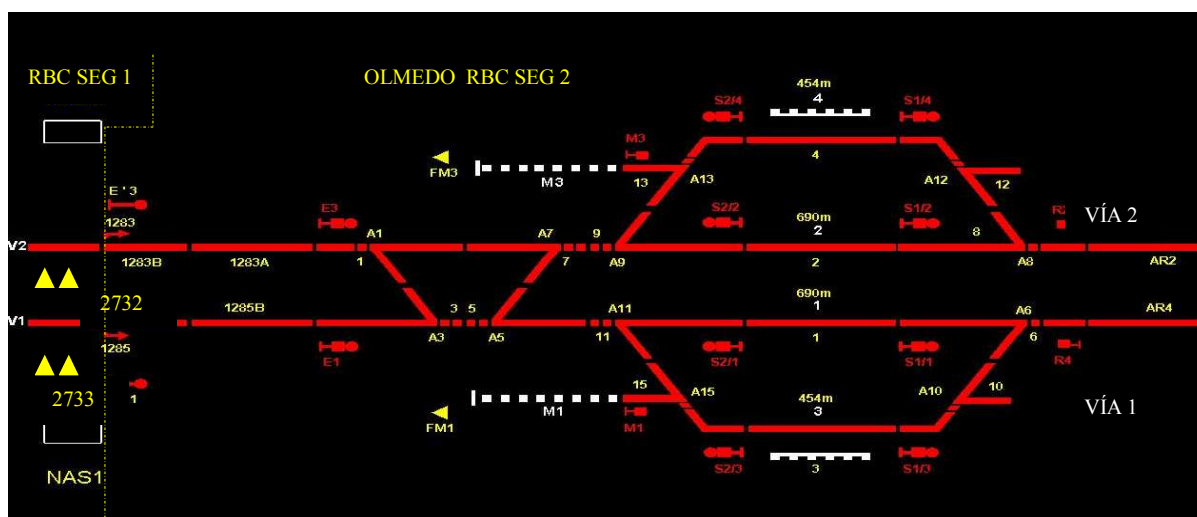
Paquete 131 en baliza 2072.2 y 2073.2 para la transición “Segovia 1”-->”RBC Chamartin” :

Q_DIR = 1 "Dirección Reverse"
NID_C = 357 "Identificador de la línea"
NID_RBC = 1008 "Identificador del RBC de Segovia"

Se observa que toda la información de transición se da en balizas fijas, ya que esta información no es modificable, siempre que se pase por este tramo vía en Nivel 2 habrá que transitar de RBC.

4.4.2.5 Transición RBCs frontera Nava de la Asunción-Olmedo

4.4.2.5.1 Transición RBC SEG 1 => RBC SEG 2



Primer paquete 42 en baliza 2732.0 y 2733.0 para la transición “RBC Segovia 1--> RBC Segovia 2” :

Q_DIR = 1	"Dirección Nominal"
Q_RBC = 1	"Establecimiento de comunicación"
NID_C = 357	"Identificador de la línea"
NID_RBC = 1007	"Identificador del RBC de Segovia 2"

Segundo paquete 42 en baliza 2732.1 y 2733.1 para la transición “RBC Segovia 2--> RBC Segovia 1” :

Q_DIR = 0	"Dirección Reverse"
Q_RBC = 1	"Establecimiento de comunicación"
NID_C = 357	"Identificador de la línea"
NID_RBC = 1006	"Identificador del RBC de Segovia 1"

Paquete 131 en baliza 2732.1 y 2733.1 2 para la transición “RBC Segovia 1--> RBC Segovia 2” :

Q_DIR = 1	"Dirección Nominal"
NID_C = 357	"Identificador de la línea"
NID_RBC = 1007	"Identificador del RBC de Segovia 2"

4.4.2.5.2 Transición RBC SEG 2 => RBC SEG 1

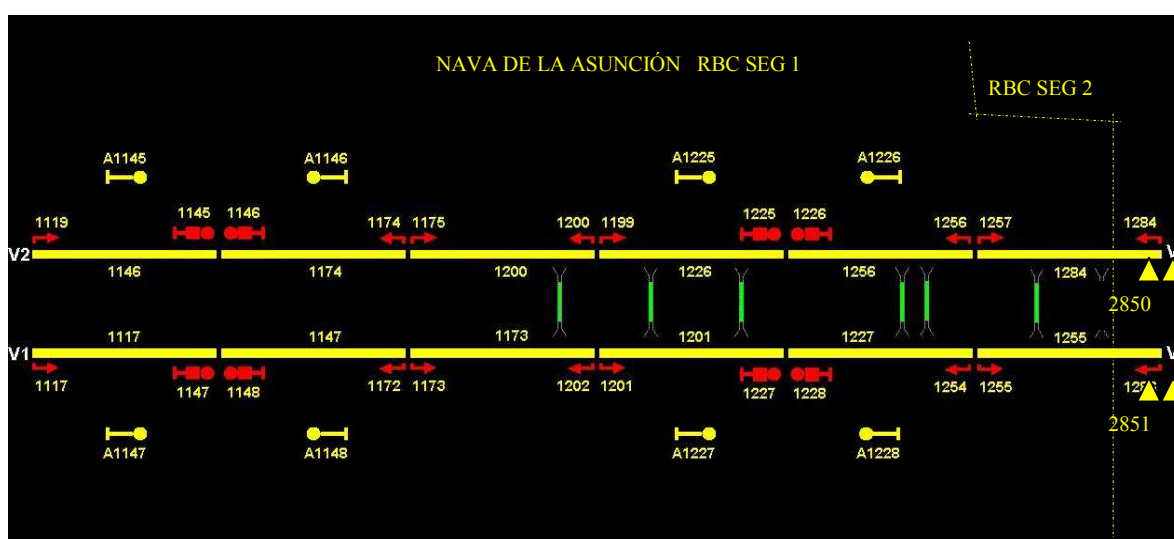


Figura 52. Tira de vía frontera de Olmedo y Nava de la Asunción [8]



Estas balizas ponen en comunicación el equipo embarcado con el siguiente RBC de la línea. El Grupo de balizas a instalar serían el 2850 y 2851.

DEPENDENCIA	NID_BG.	PK BALIZA	VIA	TIPO	SENTIDO	ELEMENTO ASOCIADO
Olmedo	2850.0	128,597	2	Fija	Madrid	Señal Virtual 1286
Olmedo	2850.1	128,591	2	Fija	Madrid	Señal Virtual 1286
Olmedo	2851.0	128,597	1	Fija	Madrid	Señal Virtual 1284
Olmedo	2851.1	128,591	1	Fija	Madrid	Señal Virtual 1284

Tabla 29. Balizas de transición RBC SEG 2 => RBC SEG 2

Primer paquete 42 en baliza 2850.0 y 2851.0 para la transición "RBC Segovia 2--> RBC Segovia 1" :

- **Q_DIR** = 1 "Dirección Nominal"
- **Q_RBC** = 1 "Establecimiento de comunicación"
- **NID_C** = 357 "Identificador de la línea"
- **NID_RBC** = 1006 "Identificador del RBC de Segovia 1"

Segundo paquete 42 en baliza 2850.1 y 2851.1 para la transición "RBC Segovia 1--> RBC Segovia 2" :

- Q_DIR** = 1 "Dirección Nominal"
- Q_RBC** = 1 "Establecimiento de comunicación"
- NID_C** = 357 "Identificador de la línea"
- NID_RBC** = 1007 "Identificador del RBC de Segovia 2"

Paquete 131 en baliza 2850.1 y 2851.1 2 para la transición "RBC Segovia 2--> RBC Segovia 1":

- Q_DIR** = 1 "Dirección Nominal"
- NID_C** = 357 "Identificador de la línea"
- NID_RBC** = 1006 "Identificador del RBC de Segovia 1"



4.4.3 Valores nacionales

Este paquete se debe a que aunque UNISIG establezca por defecto unos valores, dentro de cada región, la Autoridad Ferroviaria competente, en España ADIF, establece en algunos puntos unos criterios de señalización adaptado a su infraestructura ferroviaria aprobado por UNISIG

Los valores nacionales se transmiten únicamente por baliza. En Nivel 2 se usan los mismos valores que en Nivel 1. Están programados en todos los grupos de balizas que contienen la orden de establecer contacto con un RBC, esto es, en las balizas de sesión en los bordes del área de Nivel 2, en las balizas de transición de RBC en la frontera desde otro RBC y en las balizas de recuperación de sesión. La dirección de validez del paquete de valores nacionales es la de entrada al área controlada por el RBC o ambas direcciones de marcha en el caso de balizas de recuperación de sesión, las cuales se encuentran dentro del área de Nivel 2.

A continuación en la tabla 30 se detallan algunos ejemplos de valores por defecto establecidos por UNISIG y los valores nacionales que ADIF establece en líneas españolas.

Nombre variable por UNISIG	Descripción	Valor por defecto	Valor Nacional
V_NVSHUNT	Límite de velocidad permitida en modo Shunting	30km/h	50km/h
V_NVSTFF	Límite de velocidad permitida en modo Staff Responsible	40km/h	100km/h
V_NVONSIGHT	Límite de velocidad permitida en modo On Sight	30km/h	50km/h
V_NVUNFIT	Límite de velocidad permitida en modo Unfitted	100km/h	200km/h
D_NVPOTRP	Distancia permitida para movimiento hacia atrás en modo Post Trip	200m	50m
D_NVSTFF	Distancia máxima permitida para movimiento en modo Staff Responsable	infinito	infinito
V_NVSUPOVTRP	Límite de velocidad permitida cuando la función de 'rebase autorizado' está activada	30km/h	30km/h
M_NVDERUN	Permiso para modificar la identidad del conductor en movimiento	Sí	Sí

Tabla 30. Valores nacionales [2]



5 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5.1 Conclusiones

El proyecto ha consistido en describir el Sistema Europeo de Gestión de Tráfico Ferroviario (European Rail Traffic Management System “ERTMS”) y su implantación de Nivel 2 desde Nivel 1 en la Línea de Alta Velocidad Madrid-Valladolid.

Para entender bien este sistema de señalización, se ha realizado un primer capítulo de introducción a un sistema de señalización ferroviaria, describiendo los principales elementos de la vía y cómo funcionan. Seguidamente al capítulo de introducción de señalización ferroviaria, se habla de la tecnología ERTMS, describiendo sus niveles, modos de operación y elementos necesarios para su funcionalidad. El sistema ERTMS es un sistema de señalización más avanzado del que existe en este momento. Después de entender este sistema, tenemos el capítulo de aplicación específica en Línea de Alta Velocidad Madrid-Valladolid de implantación Nivel 2., en el que se han descrito los elementos necesarios para su operación en este nivel, programación de datos, interfaces de comunicación, dependencias y datos técnicos de la línea.

Este sistema ha hecho que el sector ferroviario sea más competitivo frente a otros medios de transporte, como es el avión o la carretera. Actualmente, se puede viajar en un tiempo de dos horas y media a Barcelona o Sevilla desde Madrid, o en menos de una hora a Valladolid desde la capital. Comparando en función del tiempo el tren frente al avión en viajes a Barcelona desde Madrid, el avión acortaría tiempos incluyendo facturaciones y embarques, pero el tren de Alta Velocidad ofrece otras ventajas, como mayor comodidad, permite trabajar con equipos informáticos mientras se viaja y tiene garantías de puntualidad. El hecho de que te deje en el centro de Barcelona o Madrid es otra ventaja, ya que la mayoría de la gente viaja al área metropolitana.

Existe una frontera de kilómetros que establece qué medio de transporte, tren de alta velocidad o avión, es mejor para viajar en función del tiempo gastado. Esta frontera son aproximadamente los 700-800 kilómetros. Por este motivo, creo que España se podría aventajar de su geografía, teniendo su capital en el centro del país y distando con todas las capitales de provincia a menos de 700 kilómetros. El Estado Español



está a la cabeza en proyectos y en líneas ya con servicio comercial de Alta Velocidad. Con el Plan de Estrategia de Infraestructuras y Transporte queriendo unir todas las capitales de provincia con Alta Velocidad en el año 2020, es un proyecto ambicioso en el que todos saldremos ganando.

5.2 Trabajos futuros

A pesar del ambicioso objetivo ERTMS, aún no es suficientemente estable y está en continuo desarrollo. Debido a esto las distintas administraciones nacionales se ven obligadas aprobar versiones locales intentando que sean compatibles con las especificaciones técnicas creadas por UNISIG. A pesar de estos problemas, las perspectivas de ERTMS son muy buenas y son apoyadas por las experiencias positivas de circulación ya existentes, sobre todo en Suiza y España. Actualmente existen más de 5.700 vehículos y más de 20.000 km en todo el mundo utilizando este Sistema de Control Ferroviario. Aunque este sistema se ha desarrollado en Europa, es utilizado en otras partes del mundo, como México, China o Nueva Zelanda.

Actualmente en España se encuentran las siguientes Líneas de Alta Velocidad operando en ERTMS:

- Madrid-Barcelona. 627 km en Nivel 1.
- Madrid-Valladolid. 180 km en Nivel 1.
- Córdoba-Málaga. 155 km en Nivel 1.

Existen otras dos Líneas de Alta Velocidad en España que no están equipadas con ERTMS. En 1992, en España se creó la primera Línea de Alta Velocidad (Madrid-Sevilla). En este año, aún no estaba desarrollado el sistema ERTMS, por lo que esta primera Línea de Alta Velocidad se instaló con el sistema LZB, es un sistema alemán de transmisión continua de información y señalización desde la vía al tren. El intercambio de información es bidireccional, es decir, existe un intercambio de información desde la vía al tren y desde el tren a la vía. Este intercambio de información se realiza mediante lazos inductivos. Con la construcción de esta primera Línea ferroviaria de Alta Velocidad en España, la empresa Alstom fabricó 24 trenes para prestar servicio en esta línea, el ancho de la vía era ancho internacional (1435 mm) que es diferente al ancho ibérico de vía de las líneas en España (1668 mm).

Posteriormente se llegaría a la conclusión, de que la cantidad era excesiva, por lo cual se decidió dejar 18 trenes para ser usados en la LAV Madrid-Sevilla y aprovechar los restantes 6 trenes para que cubrir la línea entre Barcelona y Alicante pasando por Tarragona, Castellón de la Plana y Valencia, transformando sus bogies originales por otros de 1688 mm.

A continuación se puede observar un mapa de España con las líneas de ferrocarril de alta velocidad actualmente en servicio, en construcción, en proyecto o en estudio.



Figura 53. Mapa de España con líneas de Alta Velocidad en servicio, en construcción y en proyecto [15]

Actualmente está en proceso la instalación de Nivel 2 para su implantación en 2011 en las Líneas Madrid-Valladolid y Madrid-Barcelona.

A finales de este año (diciembre 2010) se inaugurará la próxima Línea de Alta Velocidad ERTMS equipadas con Nivel 1 y 2 Madrid-Cuenca-Motilla del Palancar-



Valencia, junto con el ramal Motilla del Palancar-Albacete, que en 2010 incorporarán a la red ferroviaria sus 438 km (Madrid-Valencia, 391 km, y Motilla-Albacete, 47 km).

A continuación se nombra las Líneas de Alta Velocidad en construcción:

- L.A.V Sevilla-Cádiz equipadas con Nivel 2 ERTMS, apertura prevista en 2012.
- L.A.V Barcelona-Figueras equipadas con Nivel1 y 2 ERTMS, apertura prevista en 2012

Existen otras Líneas de Alta Velocidad en construcción, como se puede observar en la figura 53, aunque todavía no tienen definido en qué sistema de señalización van a operar.

Hemos podido comprobar que existe una fuerte apuesta por este sistema, siendo ERTMS la base del futuro para las Líneas de Alta Velocidad ferroviarias.



6 REFERENCIAS

- [1] Explotación de líneas de ferrocarril (2008). *Andrés López Pita*.
- [2] System Requirement Specification Preface to the versión 2.2.2 SUBSET-026
- [3] FIS for the RBC/RBC handover versión 2.3.0 SUBSET 039
- [4] European Train Control System. Developent and implementacion in Italy (2007). *Fabio Sensi-Enzo Marzilli*
- [5] System Requirement Specification Preface to the Version 2.2.2
- [6] Compendium on ERTMS (2009). *Peter Winter*
- [7] Curso de formación en “European Rail Traffic Management System” impartido por la empresa de consultoría y proyectos “Planytec”
- [8] Fototeca *Planytec*
- [9] Revista “Vía Libre” (Junio 2009)
- [10] Revista “TecniRail” (*Enero de 2008*). Información sobre *Ferrocarriles y Transporte Urbano* Nº 65
- [11] http://www.adif.es/es_ES/infraestructuras/lineasdealta_elocidad
- [12] <http://www.ferrocarril.us>
- [13] www.webmag.transport.alstom.com
- [14] <http://www.era.europa.eu/Pages/Home.aspx>
- [15] http://es.wikipedia.org/wiki/Alta_Velocidad_
- [16] <http://ferrocarriles.wikia.com/wiki/Portada>
- [17] <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=321518>